

社 团 法 人

日本造船研究協会報告

第 18 号

昭 和 32 年 5 月

熔接欠陥の非破壊検査による判定基準と熔接強度との
関連性に関する研究（第1報）

..... 第 32 研究部会

A Study on the Relationship between Weld Strength
and Evaluation Standards of Weld Defects
in Non-destructive Testing (Part 1)

..... The 32 nd Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan,
Tokyo, JAPAN
No. 18
May 1957

第32研究部会委員名簿

委員長	木原 博		
幹事	石井 勇五郎	多田 美朝	
委員	梅住 剛 蒲田 利喜蔵 高木 乙麿 寺尾 貞一 丹羽 登 舛田 吉郎	宇野 九十九 小西 一郎 富田 圭一 中島 朝太郎 藤井 義六 山内 俊平	岡崎 正臣 篠山 徳太郎 手塚 敬三 申村 林二郎 松岡 忠正 渡辺 正紀

Membership of the 32nd Research Committee

Chairman	Hiroshi KIHARA		
Secretaries	Yūgorō ISHII	Yoshitomo TADA	
Members	Gō UMEZUMI Rikizo KAMATA Otsuma TAKAGI Teiichi TERAO Noboru NIWA Yoshirō MASUDA	Tsukumo UNO Ichirō KONISHI Keiichi TOMITA Asatarō NAKAJIMA Giroku FUJII Shunpei YAMANOUCHI	Masaomi OKAZAKI Tokutarō SASAYAMA Keizo TEZUKA Rinzirō NAKAMURA Tadamasa MATSUOKA Masanori WATANABE

A Study on the Relationship between Weld Strength and Evaluation Standards of Weld Defects in Non-destructive Testing

Abstracts

It is of great significance for evaluation of the quality of weld joints to know the influence of weld defects upon the weld strength. Under the present situation lacking any reliably scientific authority, critical judgement to pass or reject a given weld joint in the non-destructive test is made on the basis of temporarily adopted standards.

The present Research Committee has devoted its efforts to attainment of authoritative standards for evaluating the results of non-destructive testing, based on sufficiently scientific grounds, by clarifying the relationship between the weld strength of a joint and the non-destructive test results of that joint.

- 1) Relative capacities of different types of non-destructive inspection to detect weld defects.

The technical factors affecting the detecting capacity of three types of inspection—that is, X-ray, ultrasonic, and magnetic particles—as applied to inspection of welds have been investigated theoretically as well as experimentally. The conditions essential to realize the best capacity were sought and defined for each type. Then the three types of inspection were actually applied to testing of various joints having different typical flaws; the images of such flaws in as-weld joints and the ones with the welds finished smooth and the characteristics of detecting capacity were studied. The results revealed the following fact. With respect to detecting power, direct photography by X-ray is the best of all. For reason of simplicity, fluoroscopy by image intensifier is suitable for relatively thin objects; for thick objects, with X-ray or γ -ray and G. M. tube and with ultrasonic—any of them may be applied with success, magnetic particle testing are highly susceptible to defects lying near to the surface and suitable for detection of qualitative abnormalities.

- 2) Relation between defects and the strengths, static and impact, of welded structures.

To know the relation between defects and strengths, experiments should be made on weld specimens containing different forms of defect in different measures. As a preliminary step to this study, methods were developed to artificially create any defects as desired without causing qualitative change of material as far as possible. They include variation of welding current, spraying of gases during welding; with impurities scattered on the work to be welded; boring with a drill or grooving with a saw of the first or the second layer of bead and then welding over the area.

Preparatory test results with specimens containing such artificial flaws have been published in a report.

3) Relation between defects and fatigue strength of welded structures.

Calibration of fatigue testing machines and stress control while testing are essential for accurately conducting a fatigue test. To this end, an IIW International Standard calibrating equipment for the fatigue testing machines has been constructed; it proved satisfactory in its performance.

The results of fatigue tests tend to be statistically scattered. The committee has carried out a statistical study of fatigue strengths of a mild steel plate which constitutes the mother metal of the welds to know the pattern of such scatter. An enormous number of weld joints were fabricated and X-ray inspected; out of them, 160 fatigue test-pieces representing typical kinds and distributions of defects were selected. The tests on these specimens are now under way and the results are not yet available.

4) Investigation of relationship between weld defects of actual ships and mishaps.

Preceding this investigation, the weld joints in the hulls of newly-built ships were radiographed in many shipyards, revealing as a result the extent of welding defectiveness. On the other hand, foreign ships were subjected to X-ray test at the time of their docking for repair in order to have information on the extent of defectiveness of welding in them. The results of investigation are going to be published.

5) Formulation of interpretation standards.

With reference to formulation of the Inspection Procedure of Welds, the Committee has reached a definite conclusion on the technique to be adopted through the study described under 1). But as the relation with strength has not yet been clarified, judgement standards by which to pass or reject cannot be established. Therefore the report on this subject will be reserved for the next opportunity.

熔接欠陥の非破壊検査による判定基準と 熔接強度との関連性に関する研究

(第 1 報)

目 次

緒 言	(1)
第1編 非破壊検査法の熔接部欠陥検査能力の比較	(3)
第1章 総 論	(3)
第2章 熔接部 X 線透過検査能力	(4)
第3章 熔接部超音波検査能力	(22)
第4章 熔接部磁粉検査能力	(29)
第5章 熔接部 X 線, 超音波および磁粉検査の比較	(35)
第2編 欠陥と熔接構造の静的および衝撃強度との関係	(56)
第1章 熔接欠陥の人工的作成	(56)
第2章 熔接欠陥の機械的強度におよぼす影響 (予備実験)	(68)
第3編 実船における熔接欠陥と事故との関係	(75)
第1章 我國に於ける新造船の熔接部における欠陥調査	(75)
第2章 外国船熔接部の X 線検査結果	(82)

熔接欠陥の非破壊検査による判定基準と熔接強度との 関連性に関する研究（第1報）

緒 言

近代工業に於て鉄鋼構造物はその重要部分を占有している割合が非常に多い。特に船舶の大部分は鉄鋼構造物である。その造船技術に今日の隆盛を來した原因は一に熔接技術の発達によるものといつても過言でない。このような造船技術の発展を招いた熔接も、欠陥を全然含まない場合の強度に関しては数多くの研究がなされており、設計上の問題も相当解決している現状である。

しかるに一般構造物における無欠陥の熔接ということは殆んど不可能である。以下の報告に示すごとく X 線検査によるものだけでも殆んど大部分がある程度の欠陥を含んでいる。ところがその欠陥が強度に如何なる影響を及ぼすかについては現在まで殆んど不明のままに残されていた。日本においてX線検査についてはフィルム上にあらわれた欠陥像によつて客観的なデータもなしに任意に6等級に分類しているが、各構造物についてどの等級まで許されるかに関しては殆んど未解決のままで、ただ根拠もなしにボイラーは1級、船体は3級等と常識的に採用しているだけである。この程度の現状で我が国および米国に於いて客観的裏付ないまま規格化されている程度である。

しかば何故に熔接技術の発達した現在このような状態にあるかと云う原因については次のようなことが挙げられる。

1. 欠陥度を客観的に定める方法が見つからなかつたこと。

すなわち、強度は数的に表現されるものであり、従つて欠陥も数的に規定するのでなければ欠陥と強度との客観的関係は求められない。しかるに欠陥を数値で如何に表現するかが問題であり、その表現方法も強度と関連するものでなければならぬ。この表現方法が得られなかつたため過去における欠陥と強度との関係の文献は互に関連をつけられずそれを適用し得ない。しかるに我が国において JIS Z 2341 (金属材料の放射線透過試験法) の規格は不完全ながら欠陥を数的に表現したものである。従つて我々の研究はこれを足がかりとして欠陥数と強度との関係を求めて欠陥度の表現方法を完全なものにして行くべきである。

2. 任意の欠陥を作ることが困難であつた。

すなわち欠陥と強度との関係を求めるには熔接方法や母材の材質、熔接棒の種類その他によつて熔接部の強度におよぼす影響を除外し、欠陥度と強度との相関関係を求めなければならない。それには意図する欠陥が任意に得られる研究が先づなされなければならない。

以上のような事情にあるため本研究では欠陥度と強度との研究を行う前に欠陥度を正確に決定するため各種の欠陥検出方法の能力とその比較を基礎研究として行い、他方任意の欠陥を有する熔接方法の研究に主力を注ぎ、来る次の強度試験の研究のために系統ある欠陥を有する一連の試験片を作製する研究を行つた。

なお現在まで得られた欠陥のある熔接試験片について予備強度試験を行い、更に現在の建造船、外
国の修理船などにつき熔接欠陥の実態調査を行つた。

以下これらにつき昭和 32 年 3 月まで得られた結果を第 1 報として報告する。

第1編 非破壊検査法の熔接部欠陥検査能力の比較

第1章 総論

1・1 緒言

熔接部の欠陥とその機械的強度の研究を行うにあたり、まずその欠陥の程度を定めなければならぬ、そのためにはまず欠陥を検出する方法とその検出能力について研究を行つた。

熔接部に現われる欠陥には偏析などによつて現われる材質的な欠陥、熱的過程によつて現われる欠陥、またはスラッグ、ガス等の介在によるもの、溶込不足、融合不良、割れ、アンダーカットなどの幾何学的欠陥など色々挙げられる。しかしこれらの欠陥が如何に小さいものでもまたどんな種類のものでも非破壊的に検出されるとは限らない。今回検査法としては内部欠陥の検出を中心としたのでX線透過検査、超音波による探傷法および磁粉検査の三方法を使用してみた。この三方法のうちX線透過検査は幾何学的欠陥に対して最も直觀性があるため最も広く用いられている。しかし一枚のフィルムだけからは欠陥の平面的的位置しか求められず厚さの方向の位置を求めるには立体撮影をしなければならない。超音波探傷法はX線で検出されない厚いものの検査もできまた厚さの方向の位置も求め得る。しかし直感性が乏しく小さい欠陥の検出は困難である。磁粉検査はX線検査に次ぎ直觀性あり、幾何学的欠陥以外に材質的な欠陥の検出の可能性もある。

以上のごとく種々の特徴を有する三方法を熔接部欠陥の検出に対してどの程度の検出能力あるかをそれぞれの方法について行い、また同一の試料についてこれら三方法を同時に用いて各方法の比較検討を行つた。

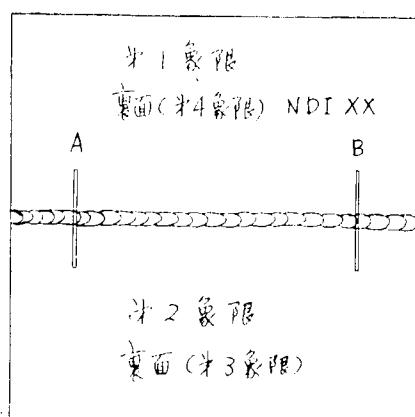
しかし厚さ10~20mm程度の試料について行つたが今回は厚物に対する実験は行わなかつた。

1・2 試験片

非破壊検査を行つた熔接試験片は $20 \times 40 \text{ cm}^2$ 厚さ15~20mmの軟鋼板を2枚熔接して第1・1図のような試験片を作つた。熔接は手、自動電弧法を用いたが意図する欠陥を作ろうとするには手熔接が容易なので主に手熔接を用いた。

欠陥検出はビードの余盛のまま三方法によつて行い、次に余盛を取つて同じく三方法を実施した。

試験片は第1・1図のごとくビードを横切つてA、Bなる切溝を入れてある範囲が検査の対象となつた箇所である。X線はこの図の前面より後面へ透過するように投



第1・1図

射して撮影した。この X 線フィルムを標準にして超音波、および磁粉検査を行つた。また超音波の入射方向を規定するため各試験片に第 1 象限から第 4 象限まで決めた。すなわち X 線フィルムのフィルムマーク NDI×× が正しく右上にあるごとくした場合を基にしその場合の上部を第 1 象限、下を第 2 象限、第 1 象限の裏面を第 4 象限、第 2 象限の裏面を第 3 象限として定めた。また超音波の測定位置を示す横軸をビードに平行にとり A を原点として A から B の方へ mm の数で示すようにした。

第 2 章 熔接部 X 線透過検査能力

2・1 X 線透過検査方法

物体の内部に欠陥があればその部分は X 線の吸収程度に差があるため透過した X 線の強度が異つて来る。この強度変化から欠陥の状態を調べるのが X 線透過検査法である。この強度変化を調べるにはフィルムに撮影する方法、螢光板を用いて観察する方法、あるいは計数管で測定する方法等がある、それぞれ特徴を有しており目的に応じて何れかの方法を採用する。

(1) 直接撮影法

これは X 線の写真作用を利用して、写真フィルムに透過像をうつし、肉眼で検査する方法である。この方法は欠陥を明確に把握できる点とフィルムが永く保存できる点で現在最も利用されている方法である。

(2) 透視法

これは螢光板に透過像をうつし、肉眼で観察する方法である。フィルム、写真薬品を使用しないため経費も少く、また短時間で行い得る最も簡単な方法である。しかし欠陥検出能力が直接撮影法に劣っているのが欠点である。

(3) 間接撮影法

これは螢光板にうつった透過像を小型カメラに撮影する方法である。この方法の長所、短所は直接撮影法と透視法の中間である。

(4) 計数管法

これはガイガ計数管を用いて透過した X 線の強さを順次測定し、この値の変化から欠陥を発見する方法であるが、現在のところまだ充分に利用されるに至っていない。

2・2 欠陥検出度を左右する因子

X 線透過写真によつて如何なる程度の欠陥まで検出できるかと云うことは色々な因子によつて決定する。すなわち X 線フィルム、増感紙、X 線管電圧、X 線の焦点、撮影の際の管球と物体およびフィルムとの間の相互間距離、フィルターの種類、散乱線など色々な因子によつて欠陥の判別限界が左右される。しかも最良の条件でも撮影時間や経済的条件によつて制約される。従つてそれらの条件の欠陥判別度に及ぼす因子について試験する必要がある。

2・2・1 X線フィルム

工業用 X 線フィルムを大別すれば螢光増感紙用と金属箔増感紙用（ノースクリーン用）とあり、金属箔増感紙用は更に高感度用と高解像力用とに分けられる。市販の X 線フィルムのうち 2, 3 を分類すると第 2・1 表となる。

第 2・1 表 X 線フィルムの種類

螢光 増感紙用		コダック F, ブルーブランド, ゲバルト Plus S, Curix	鉄鋼など厚物撮影用
		フジ #400, フジ標準用, デュフェイ High Speed さくら Type S, さくら Type Y	
ノースクリーン用	高感度用	コダックノースクリーン, K, ゲバルト D10, フジ #200, さくら Type N, デュフェイ Industrial Standard	軽合金, 薄物撮影用
	高解像力用	コダック A, ゲバルト D7 フジ #80, さくら Type R, デュフェイ Industrial Contrast	微細構造検査用 (金属箔併用す ることが多い)
	微粒子	コダック M	
	極微粒子		

以上に示すような各種のフィルムがあるが、これを如何に使用するかによつて欠陥検出限度が決定する。

2・2・2 増感紙

増感紙にも使用用途によつて大別して螢光増感紙と金属箔増感紙とある。螢光増感紙にも高感度用、高解像力用とあり、金属箔増感紙にも鉛箔増感紙、またはそれに金箔、ビスマスを蒸着させたようなものもある。

螢光増感紙の増感率は数十から数百にもなり撮影時間を非常に短縮するが解像力が高くなく、X線の管電圧が高くなれば使用できなくなる。それに比し金属箔増感紙は電子による増感であるため解像力の低下が少く、散乱線を遮蔽し鮮鋭な像が得られる。増感率を測定してみた結果が第 2・2 表の通りである。

第 2・2 表 鉛箔増感紙の増感率(濃度 1.0~2.0)

front 0.04 mm back { 0.3 mm (100, 180 kVp)
 { 0.04 mm (150 kVp)

フィルム	電圧 kVp		
	100	150	180
ゲバルト D7	1.4	2.2	2.9
フジ #80	1.4	2.3	3.1

これは鉛箔増感紙についての値であるが、その他の金属箔増感紙についても大体同じ程度の値であった。

2・2・3 鉄板の熔接部検査可能範囲

上述のフィルム、増感紙を組合せて使用した場合 JIS に規定された現在要求されている限度で経済的に間に合う時間(数分間)露出で撮影できる範囲を求めた結果第 2・3 表を得た。

第2・3表 数分程度の露出時間で検査しうる軟鋼の厚さ (mm)
(撮影距離 60 cm として)

X線装置	X線 kVp	螢光増感紙		鉛箔増感紙	
		高感度用	高解像力用	高感度用	高解像力用
	125	30	25	15	10
	175	55	50	30	20
	200	65	60	40	25
	250	80	70	50	30
	300	100	90	60	35
	400	130	110	90	55
	1 MeV	180			130
	2 "				210
	20 "				340

2・2・4 X線写真のコントラスト

熔接部のX線透過検査するときX線写真に適当なコントラストがなければ欠陥の判別がしにくいう場合がある。隅肉や薄板の熔接は被写体の厚さに相当の変化あるためできるだけ検査しようとする全範囲を適当な濃度にする必要がある。また余盛を除去した熔接部の検査にはできるだけコントラストの強いものが望ましい。これらのコントラストを規定するものに被写体コントラストとフィルムコントラストとありこれら二つのコントラストの重りによつてX線写真のコントラストが決定する。

(2) 被写体コントラスト

被写体の厚さによるコントラストの事情を明かにするため鉄のフィルター 5 mm から 25 mm までのものを使用し、そのフィルターの厚さに 5 mm の差があるときに同一濃度にするための露出時間の比を求めて第2・4表のような結果を得た。これはコダック・ノースクリーンフィルムを用い濃度 1.0 になるようにしたものであるが、濃度が変つてもフィルムが変つても大きな変化はない。これによれば電圧が大になればX線の波長分布が短い方に移動するので被写体コントラストは小となり、また透過する厚さの増大と共に長波長部分の吸収が大きく短波長部分が多くなるため被写体コントラストが多少小さくなる。

第2・4表 被写体コントラストの一例 (鉄 5 mm の厚さの差について)
(フィルム、コダックノースクリーン濃度 1.0)

電圧 kVp	厚さ mm			
	5~10	10~15	15~20	20~25
100	10.4			
140	4.6	3.6	3.5	
180			2.3	2.1

(2) フィルムコントラスト

フィルムコントラストはフィルムの特性曲線の傾斜 (グラディエント) によつて示され、フィルムの種類、現像条件、濃度等によつて決まる。各種フィルムに対し 5~30 mm の鉄フィルターを使用

し、100～180 kVp で露出後指定の写真処理を行い濃度 1.0～2.0 の平均のグラディエントを求めた 2, 3 の例を第 2・5 表に示す。

(3) X 線写真のコントラスト

X 線写真のコントラストは被写体コントラストの対数とフィルムコントラストとの積によつて与えられる。ここで I_A, I_B をそれぞれ厚さの異なる部分を透過後の X 線の強さとし、 \bar{G}_{AB} をフィルムコントラストとすれば、

$$D_A - D_B = \log(I_B/I_A)\bar{G}_{AB}$$

となる。

被写体に厚さの差がある場合、濃度が大体 1.0～2.0 になるフィルム、増感紙の組合せを実用上から簡単に整理した一例は第 2・6 表である。

次に第 2・1 図の重ね接手に対し、X 線装置が 180 kVp の場合、最高電圧でフィルムコントラストが 1.9 のフィルムを用いた場合を考える。5 mm 差の被写体コントラストを 2.6 とすれば、その対数の 1 mm 当りの値は 0.08 となり、最大及び最小濃度の濃度差 ΔD は、

$$\Delta D = 0.08 \times 10 \times 1.9 \div 1.5$$

となり、濃度は大体 0.7～2.2 となる。鉛箔増感紙を使用すれば露出時間は約 1/3 となる。

X 線装置に余裕があれば、電圧を更に上昇させて写真のコントラストを低くすることが可能であり、更に板厚が増加しても特別な手段を講ずることなく比較的良好な写真撮影ができる。

2・2・5 X 線管球の焦点

(1) 焦点の形および撮影法

工業用 X 線透過写真の撮影に際して、焦点の小さい X 線管球の使用が望ましい条件の 1 つであることは当然である。しかし焦点を小さくすることは対陰極の局部的加熱のため管球製作技術上種々の困難が伴う。このため比較的大きな焦点により透過写真を撮影しているのが現状である。しかも實際作業上焦点から 60 cm の距離において撮影範囲が 30 cm ϕ 以上を要求さ

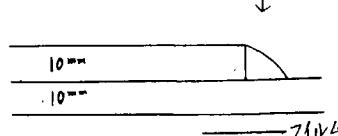
第 2・5 表 フィルムコントラスト

フィルム	グラディエント	$\bar{G}1 \sim 1.5$	$\bar{G}1 \sim 2$
		1.9	2.3
コダックノースクリーン		1.9	2.3
フジ # 400		1.7	1.9
フジ # 200		2.2	2.5
フジ 医療用		1.7	1.9
フジ # 80		2.5	3.0
コダック A		2.5	3.0

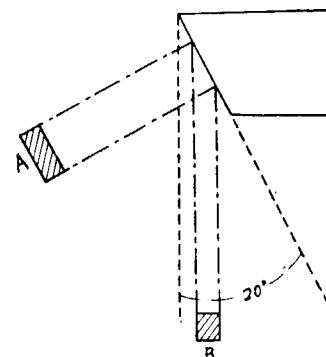
第 2・6 表 被写体の厚さの差とフィルム増感紙
(装置 180 kVp として)

被写体の厚さの差	材 厚 (mm)	使用フィルム		増感紙
		サクラ	フジ	
0 mm	~25	R	80	鉛箔
	~35	N	200	"
	~60	S	400	螢光
2 mm	~25	R	80	鉛箔
	~35	N	200	"
	15~60	S	400	螢光
5 mm	15~25	R	80	鉛箔
	20~35	N	200	"
	35~60	S	400	螢光

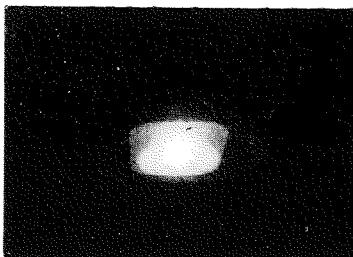
X 線



第 2・1 図 重ね接手の検査



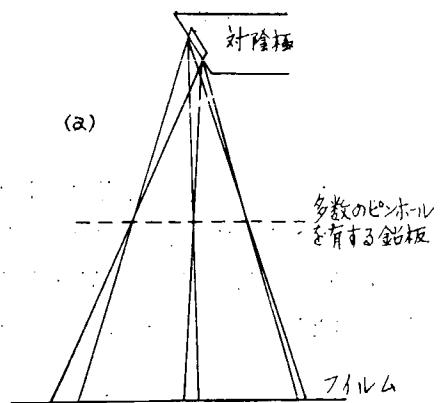
第 2・2 図



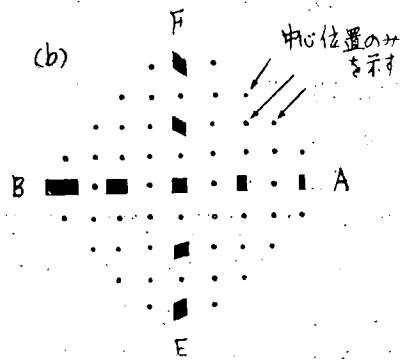
第2・3図



第2・4図



第2・5図



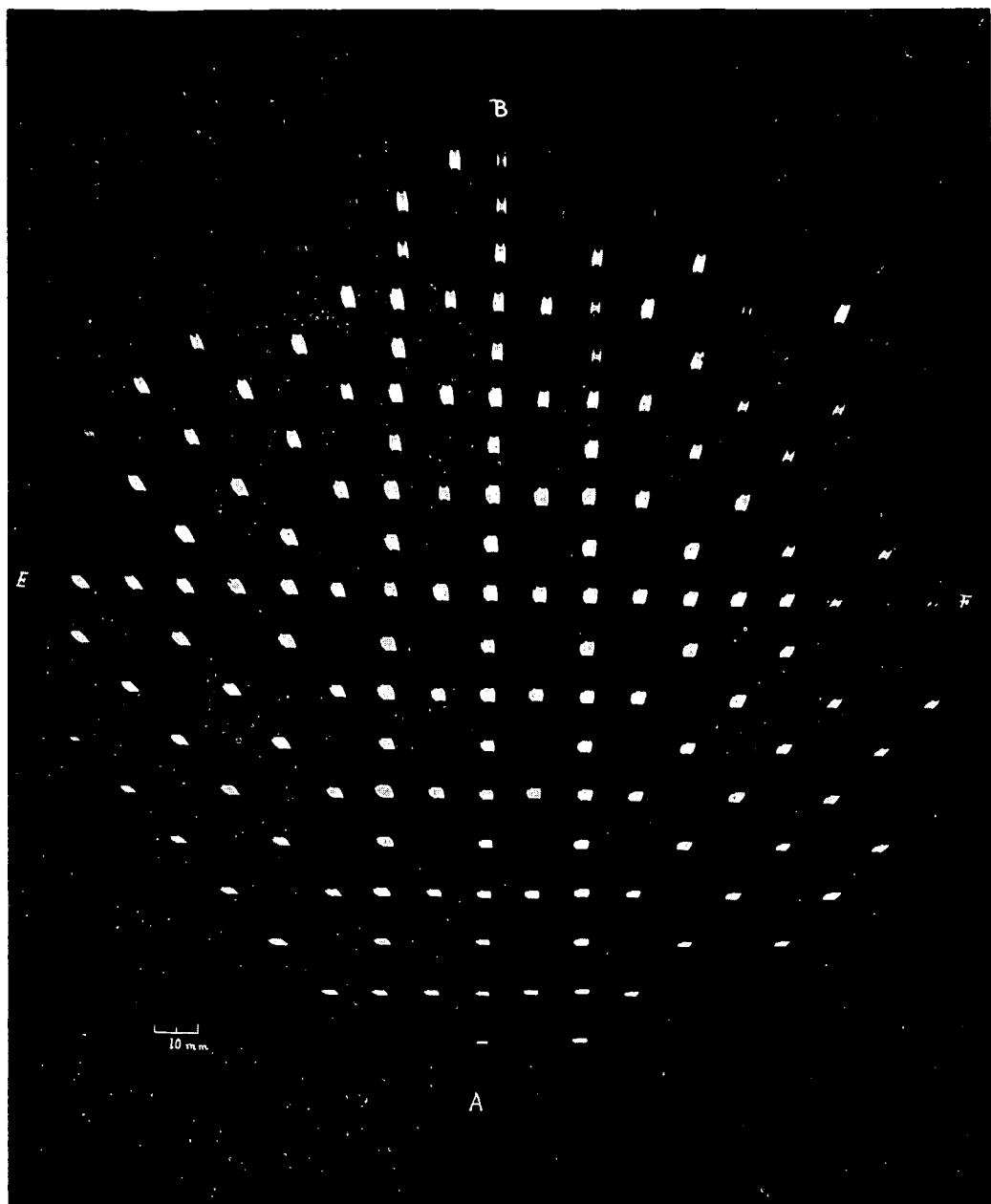
第2・6図

れているため対陰極は通常約 20° もしくはそれ以上の傾斜をもつていて、このため焦点はこれをみる位置によつて大きさが異なつてくるわけである（第2・2図参照）。X線透過写真における像の形状が焦点の形状の影響を受けることは当然予想されるところであつて、これに關し検討を加えることは写真判定を行う上から必要欠くべからざるものである。

さて工業用X線透過写真撮影用の管球には種々の形式があるが、これを焦点の形から大別すれば角焦点と梢円焦点となる。焦点の形状は対陰極の形状及びフィラメントの形状、電子集束用キャップの位置及び形状等により異なつてくるがその相互間の関係は可成り複雑である。X線は焦点の全面から放射されているのであるが、これを更に拡大して調べると第2・3図の如く焦点以外の対陰極の全面からも弱いX線が放射されている。また焦点については角焦点の場合は両端が極めてX線の強度が大であり、梢円焦点においては梢円形リングとして現れる（第2・4図）。

X線管球焦点の撮影は第2・5図に示す方法で行つたがこれによる焦点の1例が第2・4図である。

第2・5図の方法は所謂有効焦点を求めるためには十分であるが、実際には撮影範囲の全面の各点から見た有効焦点の形状を知る必要がある。このため厚さ0.3~0.5 mmの鉛板に多数の小穴を開け第2・6図(a)の如く配置して撮影するとそれぞれの小穴から第2・4図の如き焦点写真が得られるため全体として第2・6図(b)の如き焦点写真が得られる。この1例を第2・7図に示してあるがこの中央附近の1個の焦点写真は前述の第2・4図に対応するものである。



第 2・7 図

(2) 焦点の像におよぼす影響

前述の焦点の形状の像に及ぼす影響を調べるために被写体として球と線を選びこれについて検討した。球としては真球度の高い $13/16''\phi$ 及び $1/2''\phi$ のボールベアリング用鋼球を用い、線としては 24 mesh 及び 20 mesh の標準錠を使用した。

(i) 球に及ぼす影響

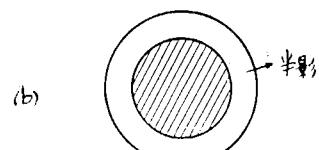
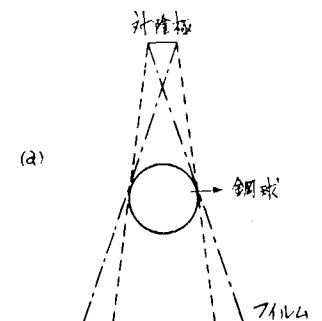
鋼球を第 2・8 図 (a) の如く配置して撮影すれば (b) の如き真影と半影を有する写真的得られることが想像される。さて実際に撮影してみると、想像されるものとは可成り異なつたものとなる。その 1 例を第 2・9 図の (1)~(6) に示す。像の大きさが異なるのは撮影条件の相違によるものであつて半影の出現様式とは無関係である。写真では印刷のためフィルム原板に比しデテールが明らかでないのでこれを模型的に表してある。半影の大きく現れる方向は第 2・6 図の EF 方向であつて、AB 方向の半影は非常に小さい。なお第 2・9 図の (3) の半影の濃度が階段的に変化しているのは焦点内の X 線強度分布に関聯している。

(ii) 線に及ぼす影響

焦点の像に及ぼす影響を調べるために従来は第 2・10 図の如く傾斜させて金網を撮影していたが、これは焦点の形状及びフィルム—金網間の距離の相違の両者の影響が重複することになる。このため金網を傾斜せずに水平に置いて先づ焦点の形状による変化を、次にフィルム—金網間の距離に伴うものと両者を分離して検討を加えた。

a. 焦点の形状に伴う変化

第 2・11 図の如く配置して種々の管球により撮影した 2, 3 の例を第 2・12 図に示す。これは焦点—フィルム間距離の比即ち H/h を 5 或は 6 とした場合であるが左右において写真的縦方向の針金の像の鮮鋭度に非常に大きな相違が認められる。像の鮮鋭な右側は小さい焦点によるものであり、左側は大きな焦点によるものである。即ち同一管球の焦点による写真においても被写体のおかれた位置からみた焦点の大きさが像の鮮鋭度に著しい影響を与えてることが明瞭である。なお写真的横方向の針金の鮮鋭度の悪いことは前述の鋼球の場合の半影の方向性を考慮すれば当然と云えよう。しかし以上のことは写真撮影上ならびに判定上特に注意をする必要があると考えられる。



第 2・8 図

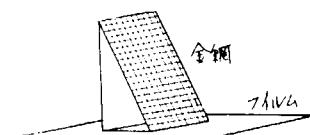


(1) 18ST (2) 25ST (3) 20ST (4) 14BR

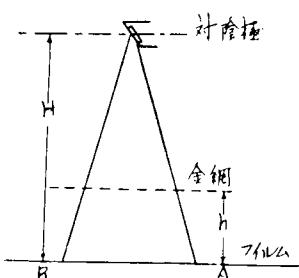


(5) 15TR (6) 30GS

第 2・9 図



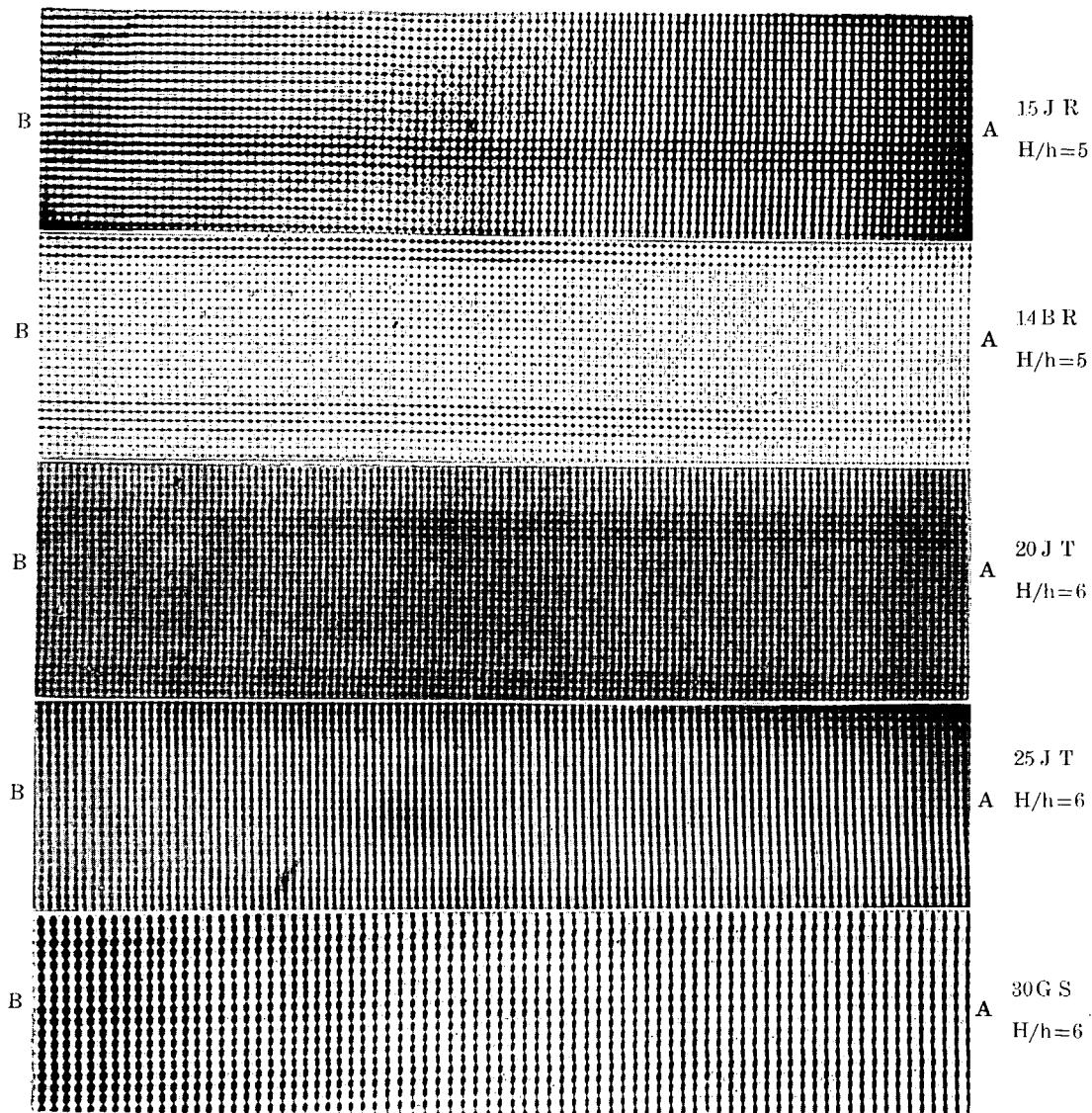
第 2・10 図



第 2・11 図

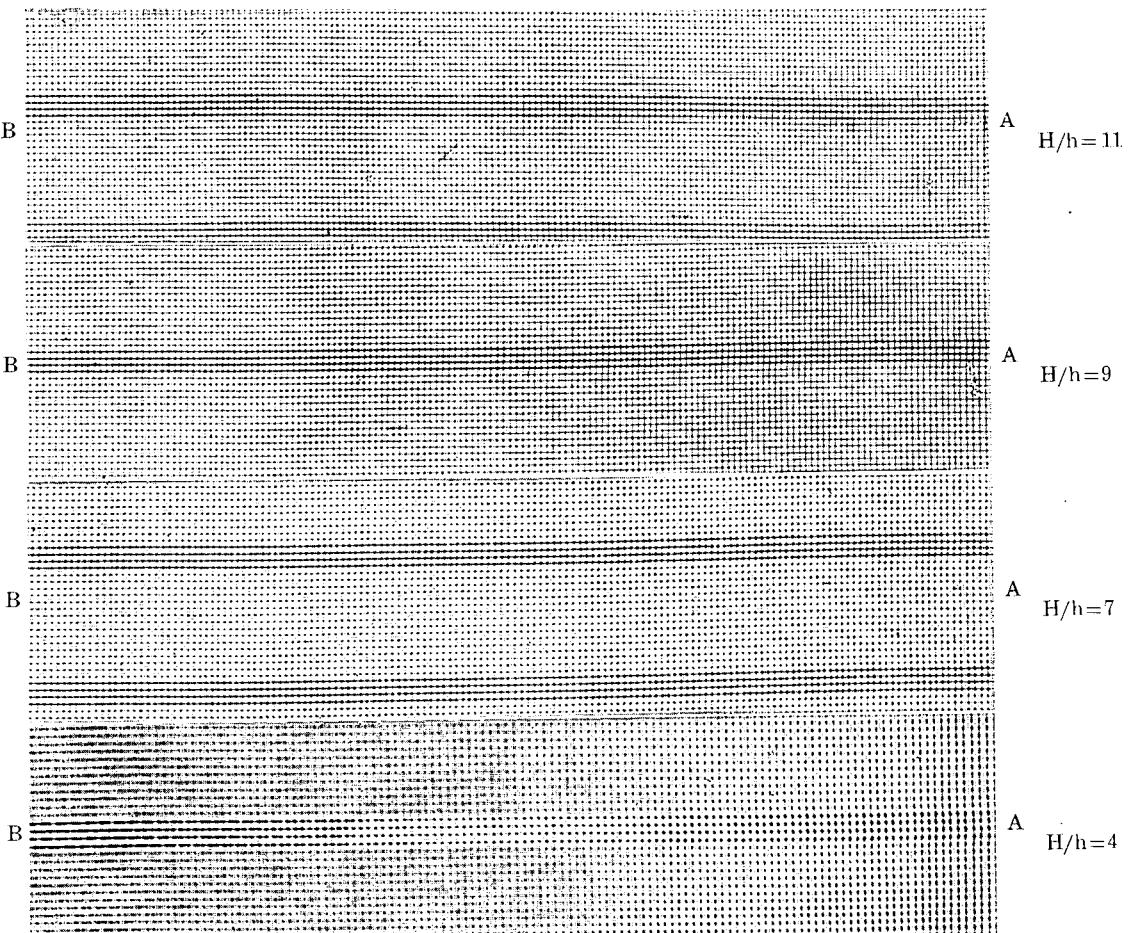
b. 焦点—被写体—フィルム間距離に伴う変化

焦点—被写体間の距離が大きい程、また被写体—フィルム間距離が小さい程像の鮮銳度が良好となることは当然である。しかし実際作業の上からは両者の何れにも制限があるため距離がどの程度像の



第 2・12 図

鮮銳度に影響を及ぼすかを検討する必要が生ずる。このため 1 つの管球について H/h を順次変化させて撮影した 1 例を第 2・13 図に示してあるが、比が大きくなるに従つて像の鮮銳度の増していることが明瞭に認められる。なおこれらの場合に金網—焦点間距離を一定とし フィルム—金網間距離を増大せしめて比の値を大きくした。



第 2・13 図

2・2・6 散乱放射線の影響

放射線が物体に照射されると、そこから散乱放射線が発生する。散乱線は放射線透過写真的コントラストを低下させ、欠陥検出能力を減少させるばかりでなく、従事者の放射線障害を引起す原因となる。従つて写真的像質を向上し、欠陥検出力を高めるためには、散乱線によるフィルムのカブリを極力少くすることが大切である。

この散乱放射線を二つに分け、フィルムの前面より到来するものと背面より到来するものとに分けて考えることにする。

(1) 前面散乱線

フィルムの前面より到来する散乱線には被検査物体内部で発生する前面伝達散乱線 (Forward Transmitted Scatter) と周囲の物体に反射して到来する前面反射散乱線 (Forward Reflected Scatter) とに分けて考えることができる。

これらの前面散乱線の影響を少くするためには次の種々の方法が考えられている。

(a) X線管と被検査物体との間に鉛板で作った絞りをおき、物体に照射される X 線の立体角ができるだけ小さくすれば、散乱 X 線の発生量は少くなる。

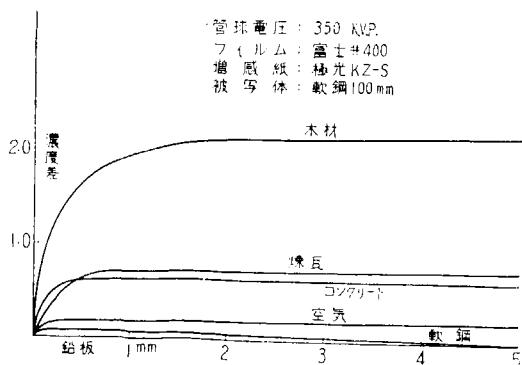
(b) ブレンデを被検査物とフィルムの間に置いて撮影すると、フィルムに露出する散乱X線を減らすことができる。ブレンデは厚さの等しい鉛箔を等間隔にならべたもので、箔の厚さもできるだけ小さいことが望ましい。散乱X線は透過X線と進行方向が違うので、鉛箔に対して斜めに入射し、これに吸収されてしまう。ブレンデを固定させておくと鉛箔の陰影が縞模様としてフィルムに現われるから、等速度で運動させて影が出ないようにする。現在入手できるブレンデは医療用のものであるので、高圧X線の場合には固定しておいても陰影は目立たない。ブレンデの鉛箔から発生する特性X線を吸収するために、厚さ1mmの錫板と厚さ0.2mmの銅箔と厚さ0.1mmのアルミニウム箔を重ねて順に上層の金属から発生する特性X線を吸収するようなフィルターを使うとよい結果が得られる。

(c) 重金属の箔をブレンデの代りに使つても散乱線の影響を減少させることができる。散乱X線はフィルターを斜めに透過することになり、その道程は透過X線より長く、従つてフィルターで吸収される割合が大きい、しかも散乱線は透過X線より波長が長くなつてるので、一層吸収され易い。フィルターの効果は硬いX線やγ線の場合に特に有効である。増感紙として使われる鉛箔もフィルターとしての役目を兼ねている。

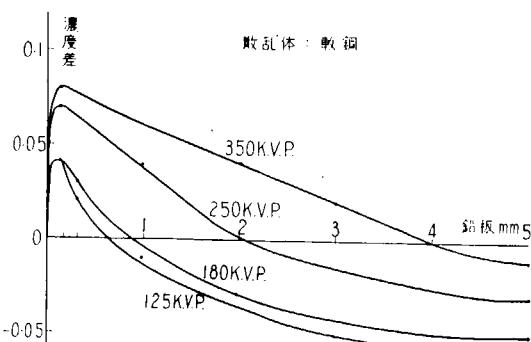
(2) 背面散乱線

床、壁などフィルムの背後にある物体が散乱線の発生源となつて、フィルムの背面より到達する背面散乱線(Back Scatter)についてはカセットの後側に散乱線を吸収するに充分な厚さの鉛板で包めばよいことは周知の通りであるが、種々の実験を行つた結果次の如きことが判つた。

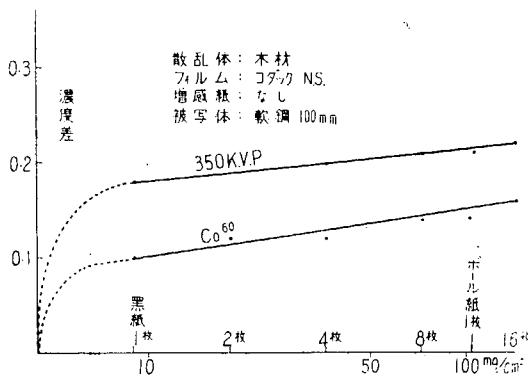
(a) 背面散乱線の線量は散乱体の材質によつて異り、実験に使用した材料の中では木材が桁違いに大きく、煉瓦、コンクリート、空気、軟鋼の順で少くなる。第2・14、2・15、2・16図はこの事情を示す。すなわち第2・14図は裏当鉛板を使用しない部分は背面散乱線によるカブリのため写真濃度は最高となるので、この濃度を標準として各板厚(横軸)の裏当鉛板を使用した部分の濃度との差を縦軸に示してある。第2・15図は曲線が横軸の下側にある部分では鉛板による背面散乱線の吸収よりも鉛板からの散乱がより多く影響していることを意味している。第2・16図は黒紙による背面散乱線の吸収を示す。



第2・14図 鉛板による背面散乱線の吸収



第2・15図 鉛板による背面散乱線の吸収



第 2・16 図 黒紙による背面散乱線の吸収

い。裏当鉛板自体からの散乱線影響の方が大きい。

(e) 軟鋼板の方が鉛板より散乱線量が少いから、背面散乱線の吸収に用いる裏当板にはできれば軟鋼板の方が望ましい。

(f) 直接線に対しては吸収が無視できる物質でも背面散乱線に対しては波長が長いので無視できないことがある。フィルムの背後に紙などを不均一に重ねておくとその陰影が生ずる。

(g) 背面散乱線を吸収するための裏当鉛板を用いない場合はフィルムの黒化は背面散乱線による成分の方が多い、透過写真としては無意味な濃度の成分を相当含んでいることがある。

2・2・7 像の鮮銳度

X線透過像を明瞭に出させるためには像のコントラストを高めるとともに像を鋭く出させることが必要である。この場合散乱線は非常に悪影響を及ぼすため散乱線の影響を少くすることに留意する必要がある。

像のコントラストを高めるためにはX線管電圧を低くし、またコントラストの高いフィルムを用いる必要がある。また像を鋭く出すためには焦点の小さいX線管を用い焦点被写体間距離を大きく被写体フィルム間距離を小さくすると同時に粒状性の良好なフィルムを使用すればよい。この場合螢光増感紙の使用はX線管電圧の低下とコントラストの増大を可能にするが、鮮銳度は低下する。また金属箔増感紙の使用は反対にコントラストの増大は望めないが鮮銳度を低下せずむしろ向上させる。

2・3 欠陥検出能力

前述したように欠陥検出に対する種々な因子について検討しその状況を調べたが、撮影された写真が果して以上のような考慮を払つて撮影されたものであるのに欠陥が現れていないのか、また撮影に際し充分な考慮を払わなかつたために現れるべき欠陥も現れなかつたのかということを確認するため透過度計を用いる。すなわち定められた一定の太さの針金または一定の厚さに孔をあけたものと被写体とを同時に撮影してどの程度のものまで現れているかによつてその撮影法の適否、従つてその写真が要求する検出能力を有しているか否かを判定する。これと同様に透視をする場合は透視度計を用いるのであるがこれらに関しては金属材料の放射線透過試験 JIS Z 2341 (1955) に規定されている。

今ここにこれらの透過度計、透視度計について検出能力を求める実験を行つてみた。

(b) 背面散乱X線は線管球電圧の上昇に伴つて増加する。従つて管球電圧が高くなるほど散乱線の影響によつてもコントラストが低下する。

(c) 背面散乱線を吸収するために用いる裏当鉛板の厚さは通常 1 mm, X線管球電圧の高い場合 (400 kV 以下で) でも 2 mm あれば実用上充分である。

(d) 散乱体が空気、または軟鋼だけである場合には裏当鉛板はむしろ用いない方がよ

3・3・1 針金型透過度計と有孔型透過度計

透過度計の型式としては針金型と有孔型がある。透過度計はX線写真の検出能力のスケールと考えられているが同一写真において針金型から得られる欠陥検出度の値と有孔型から計算される欠陥検出度は等しいとは限らない。すなわち欠陥検出能力は一般に次の式で求められる。

$$\text{欠陥検出能力} = \frac{\text{認め得る最も細い透過度計の直径}}{\text{試験部の厚さ}} \times 100\% \quad (\text{針金型})$$

あるいは

$$\text{欠陥検出能力} = \frac{\text{認め得る最も薄い透過度計の厚さ}}{\text{試験部の厚さ}} \times 100\% \quad (\text{有孔型})$$

ここで求められた % の数値が小さいほど欠陥検出能力が高いことになり、数値が大きいほど欠陥検出能力が低いことになる。

色々な鉄板の上にこれら二つの透過度計をおき、その検出される度合から云えば一般に試験部が薄くなるに従つて針金型による方が欠陥検出能力が低くなる。その一例としてイメージインテンシファイナーを用いアルミニウムの透視検査を行つたところ針金型と有孔型で第 2・7 表のような結果を得た。

第 2・7 表

試験部の厚さ (mm)	X 線管電圧 kV	針金型による 欠陥検出能力 %		有孔型による 欠陥検出能力 %	
3.2	40	11		4.5	
6.4	50	7.9		3.4	
10	60	6.3		2.3	
13	65	4.7		2.2	
19	75	4.2		2.4	
25	85	3.5		2.0	
32	90	2.5		2.1	
40	100	2.6		2.4	

焦点螢光板距離: 150 cm, 管電流: 10 mA, 焦点: 5.0 mm

2・3・2 透視法の欠陥検出能力

透視法の欠陥検出能力はイメージインテンシファイナーを用いるか用いないかで非常に異なつてく

第 2・8 表 アルミニウムの透視と欠陥検出能力

試験物の厚さ (mm)	イメージインテンシファイナーによる透視				螢光板による透視	
	焦点 0.3mm 距離 50 cm		拡大率 2 管電流 2mA		焦点 5.0mm 距離 150 cm	
	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %
3.2	30	6.3	40	11	80	19
6.4	44	3.9	50	7.9	100	12.5
13	48	2.4	65	4.7	100	7
25	63	2.0	85	2.4	130	5.9
40	77	1.6	100	2.6	160	5.3
50	88	1.4	120	2.3	180	5
63	99	1.3	120	2.8	190	4.7
75	107	1.0	160	2.6		
90	121	1.1	190	3.4		
100	125	1.2	200	3.9		
115	125	2.2				
130	125	2.4				

第2・9表 鋼の透視と欠陥検出能力

試験物の厚さ (mm)	イメージインテンシファイアによる透視				螢光板による透視	
	焦点 0.3mm 距離 50cm		拡大率 2 管電流 2mA	焦点 5.0mm 距離 150cm	拡大率 1.08 管電流 10mA	焦点 5.0mm 距離 150cm
	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %
3.1	81	4.7	80	12.5	200	16
6.4	103	3.9	105	7.8	200	11
10	121	3.7	130	7.3	200	9.5
13	125	3.2	150	7.1	200	9.6
16	125	3.2	—	—	—	—
19	125	4.3	200	5.3	200	8.5
25			200	4.8	200	8.0
32			200	6.4		
40			200	7.0		

る。また拡大透視の拡大率によつても異なる。これらの比較の1例を第2・8、2・9表に示す。第2・8表はアルミニウムに対するものである。これからわかるように螢光板による透視よりもイメージインテンシファイアを用いた方が遙かに欠陥検出能力が高くまた拡大透視により更に向ふることが明瞭である。なおこの場合の欠陥検出能力は針金型使用の場合である。

2・3・3 間接撮影法と直接撮影法の欠陥検出能力

間接撮影法を行えば透視法に比べて欠陥検出能力は向上するが直接撮影法による場合よりは低い。間接撮影の場合でも透視の場合と同様拡大撮影により欠陥検出能力が向上する。通常の直接撮影法によるものとイメージインテンシファイアによる2倍拡大の間接撮影法によるものとの欠陥検出能力の比較を第2・10表(アルミニウムについて)、第2・11表(鋼について)に示す。この場合も透視度計は針金型である。

第2・10表、第2・11表からイメージインテンシファイアによる間接撮影では直接撮影に比べ

第2・10表 アルミニウム間接撮影及び直接撮影と欠陥検出能力

試験物の厚さ (mm)	間接撮影 焦点 0.3mm 拡大率 2 距離 50cm 4mA 40sec				直接撮影 (ノースクリーン用フィルム)			
	鮮鋭度用フィルム		高感度用フィルム		高解像力用フィルム		高感度用フィルム	
	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %
6.4	28	3.2	—	—	60	1.56	60	2.36
13	32	2.0	28	2.8	75	1.18	75	1.58
19	35	1.6	31	2.1	100	1.19	100	1.57
25	39	1.6	33	2.0	120	0.60	120	0.79
40	46	1.3	39	1.3				
50	53	1.2	44	1.4				
65	58	1.0	48	1.3				
75	66	0.8	53	1.1				
100	80	0.6	61	1.0	220	0.59	220	0.79
130	98	0.6	71	0.8				
150	112	0.8	84	1.6				
175	125	0.9	96	2.0				

て管電圧が約半分でよいことになる。しかし直接撮影の場合はノースクリーン用フィルムを使用しているからで蛍光増感紙用フィルムと蛍光増感紙を使用すれば電圧は低くなるので大体同程度のものとなる。なお蛍光増感紙使用の場合は欠陥検出能力はノースクリーン用フィルム使用の場合に比べて低下する傾向にあるがフィルム増感紙の組合せは非常に複雑になるので今回はそれまで実験はできなかつた。

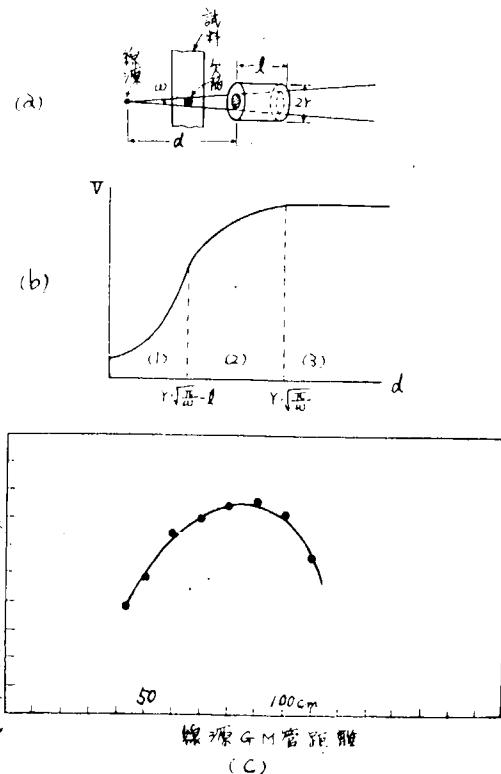
第2・11表 鋼の間接撮影及び直接撮影と欠陥検出能力

試験物の厚さ (mm)	間接撮影 焦点 0.3 mm 拡大率 2 延距 5 cm 4 mA 40 sec				直接撮影 (ノースクリーン用フィルム)			
	鮮鋭度用フィルム		高感度用フィルム		高解像力用フィルム		高感度用フィルム	
	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %	管電圧 kV	欠陥検出能力 %
3.2	52	4.8	44	4.8	120	<3.12	120	<3.12
6.4	67	2.4	53	4.8	140	1.56	140	2.36
10	88	2.7	63	3.7	180	1.24	180	1.58
13	101	2.0	72	2.8	220	1.18	220	1.18
19	123	1.6	94	2.6				
25			109	3.1				
32			122	2.5				

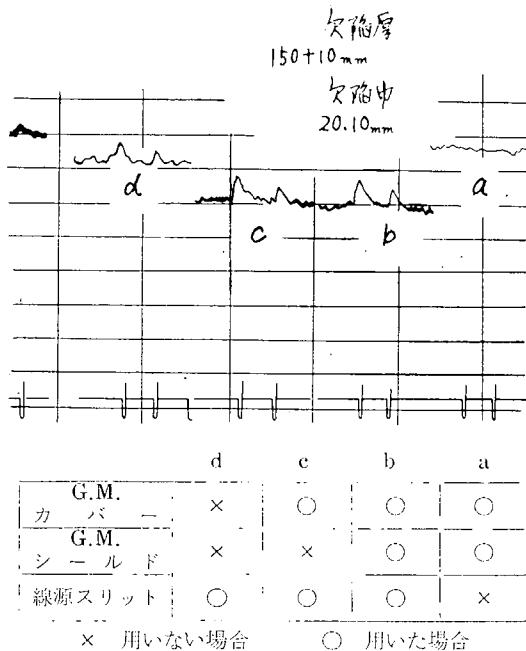
2・3・4 G.M. 管法による欠陥検出能力

フィルムによる方法は最近それに関する研究により急速に進歩し、非破壊検査法としては最も優れた確実な方法であるが現像処理等で多少の時間をする点、また厚物熔接部、大型鉄物を検査する場合には可なり長い露出時間を要し、特にラジオアイソトープを使用する場合は数時間から数十時間を必要とすると云う不便な点がある。そこでフィルムの代りに G.M. 管を使用すれば迅速に欠陥検出が可能であり、且つ相当弱い放射線源でも充分であると云う利点がある。しかしながらフィルム法とは根本的に異り、欠陥検出能力に及ぼす因子は可成複雑なようである。

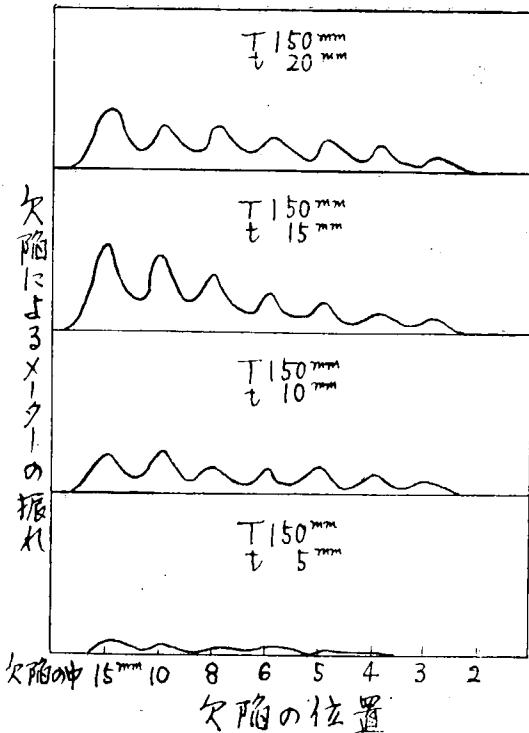
方法としては第2・17図(a)に示す如く、放射線源、試料、G.M. 管の相互位置はフィルム法のそれと同様であるが、フィルム法では試料—フィルム間距離は近いほど良い、且つフィルム—線源間は遠いほど良いのに対し G.M. 管法では欠陥、G.M. 管等の大きさにより、線源、欠陥、G.M. 管との間に適当な相互間距離が存在するのである。



第2・17図



第 2・18 図



第 2・19 図

第 2・17 図 (a) に於て放射線束が欠陥を含む立体角を ω , 線源, G. M. 管の有効半径と長さをそれぞれ r, l とすると, 欠陥を含む放射線束が G. M. 管によつて截り取られる部分の体積 V が d に対して如何に変化するかを考察すると第 2・17 (b) 図の如くになる。欠陥があるときと無いときとの G. M. 管モニターの電流計のフレの差の大きさは欠陥を含む放射線束が G. M. 管を截る体積に比例し, 距離 d の 2 乗に逆比例する。即ち第 2・18 図は距離 d に対する電流計のフレの差との関係を示す。これは欠陥, G. M. 管の大きさにより線源, 欠陥, G. M. 管との間に適当な相互間距離が存在する, 云いかえれば相互間距離の間に欠陥検出能力の最も良い条件が存在することである。

またフィルム法では散乱線が常に欠陥検出能力を低下させる原因になつてゐるが G. M. 管法ではその影響は更に大きいので線源側に鉛のスリットを置くことにより欠陥判別能力を向上させることができ。第 2・18 図はそれらの関係の実験結果を示す。これによれば線源側に厚さ 50 mm 中 3 mm の鉛スリットを用いた場合, G. M. 管に用いるシールドは 1 mm 程度の鉛で充分であることが判明した。

穴型欠陥と矩形状欠陥とでは欠陥を含む放射線束が矩形状欠陥の方が大きいので当然検出し易い。板厚が一定の場合, 欠陥の厚さ, 中によつて欠陥の検出度がいかに変るかと云う 1 例として, 板厚 150 mm のとき欠陥の厚さがそれぞれ 20, 15, 10 mm とした場合を第 2・19 図に示す。

以上の実験に於ては G. M. 管として Seven Unit Counter を用い, 放射線源として Co^{60} 300 mC を使用したのであるが条件の最も良いと思われる状態にある場合には板厚の約 3 % までの欠陥

検出が可能である。今後エネルギーの異つた他の放射線源を用い、シンチレーション・カウンターのような高感度の検出器を使用することにより検出能力を更に向上させることが可能と思われる。

2・3・5 欠陥検出能力の比較

各種X線透過検査法による欠陥検出能力について2, 3の比較を行つたが現在のところ欠陥検出能力の高い順に列記すれば次のようになる。

- (1) ノースクリーン用高解像力用極微粒子X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (2) ノースクリーン用高解像力微粒子X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (3) ノースクリーン用高感度用X線フィルムと金属箔増感紙による直接撮影。
- (4) 融光増感紙用X線フィルムと鮮鋭度用融光増感紙による直接撮影。
- (5) 融光増感紙用X線フィルムと高感度用融光増感紙による直接撮影。
- (6) イメージンテンシファイナーと鮮鋭度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (7) イメージンテンシファイナーと高感度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (8) 融光板と鮮鋭度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (9) 融光板と高感度用間接撮影用フィルムによる間接撮影。
- (10) イメージンテンシファイナーによる透視。
- (11) 融光板による透視。

なお拡大撮影によつて欠陥検出能力はすべて向上するため拡大率が異なる場合には上記の順序が変つてくる。

また計数管法については欠陥検出方法が全く異なるため上記の諸方法とは比較し難い。

2・3・6 X線透過写真の欠陥検出能力の比較

- (1) 各種フィルム、増感紙の影響(薄板熔接)

最初にビードの厚さ5mmの軟鋼熔接試験片のX線検査を各種フィルム、増感紙の組合せて撮影を行い、この結果から露出時間(この場合はすべて1分30秒)および現像条件(この場合はすべてフジレンドール20°C 6分タンク現像)を一定にした場合にフィルム、増感紙の組合せに対して同一濃度(この場合はビードの最も厚い部分の濃度となるべく同一になるようにした)を得るに必要な電圧の差と、得られたX線透過写真における欠陥検出能力の差、および写真のコントラストの相異を次の第2・12表に示す。この表で欠陥検査能力の高低および写真のコントラストの大小の順序を数字で示してある。

第2・12表 撮影条件と欠陥検出能力と写真コントラスト

写真番号	フィルム	増感紙	電圧	電流	露出時間	撮影距離	現像条件	欠陥検出能力の順序	写真のコントラストの順序
I-1	400	KZ-S	65 kVp	4mA	1分30秒	60cm	フジレンドール20°C 6分タンク現像	4	1
I-2	"	KZ-F	70	"	"	"	"	3	2
I-3	200	Pd	90	"	"	"	"	2	3
I-4	80	"	115	"	"	"	"	1	4

上の表から分るようにI-1が最も電圧が低く、I-4が最も高い電圧を必要とする。しかし欠陥検

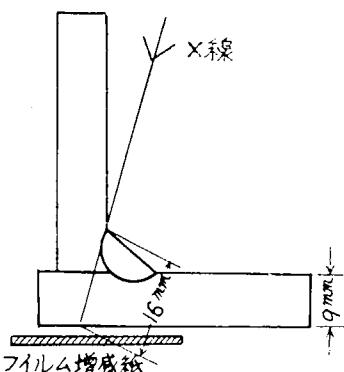
出能力は I-4 が最も高い。また写真のコントラストは I-1, I-2 のように螢光増感紙の使用の場合に大きく、I-3, I-4 のように鉛箔増感紙使用の場合に小さい。

(2) 各種フィルム、増感紙の影響（厚板熔接）

次にビードの厚さ 25 mm の軟鋼熔接試験片の X 線検査を前項(1)と同様に各種フィルムと増感紙を合組せて撮影を行い、これからフィルム、増感紙の組合せに対して同一濃度（この場合はビードの最も厚い部分の濃度が同一になるようにした）を得るに必要な電圧の差あるいは露出時間の差と、得られた X 線透過写真における欠陥検出能力の差および写真のコントラストの相異を第 2・13 表に示した。

第 2・13 表 撮影条件、欠陥検出能力および写真コントラスト

写真番号	フィルム	増感紙	電圧	電流	露出時間	撮影距離	現像条件	欠陥検出能力の順序	写真のコントラストの順序
II-1	400	KZ-S	112 kVp	4 mA	1 分	60 cm	フジレンドール 20°C 6 分タンク現像	4	1
II-2	"	KZ-F	120 "	"	"	"	"	3	2
II-3	200	Pb	170 "	"	1 分 30 秒	"	"	2	3
II-4	80	"	170 "	"	6 分	"	"	1	4



第 2・20 図

上の表から分るように螢光増感紙使用の場合は低電圧でよいが、鉛箔増感紙使用の場合は高電圧を必要とする。また II-1, II-2 では螢光増感紙の感度の差が電圧の差として現れており、II-3, II-4 ではフィルムの感度の差が露出時間の差として現れている。

(3) 開肉熔接の撮影

板厚 9 mm の軟鋼の開肉熔接、試験片（第 2・20 図のように撮影すると試験部の最大厚さ、すなわち材厚は 16 mm）について 3 種類の撮影条件で X 線透過検査を行つた。

熔接部の濃度を大体同一にした場合の電圧および露出時間、ならびに欠陥検出能力の相異を第 2・14 表に示す。

第 2・14 表 撮影条件と欠陥検出能力

写真番号	フィルム	増感紙	電圧	電流	露出時間	撮影距離	現像条件	欠陥検出能力の順序
III-1	400	KZ-F	100 kVp	4 mA	40 秒	60 cm	フジレンドール 20°C 6 分タンク現像	3
III-2	200	Pb	140 "	"	1 分	"	"	2
III-3	80	"	180 "	"	1 分 30 秒	"	"	1

2・3・7 写真処理と欠陥検出能力

(1) 現像温度、現像時間の影響

ビードの厚さ 25 mm の軟鋼試験片を試料とし同一フィルム (#400) および同一の螢光増感紙 (KZ-

S) を使用して露出条件と現像温度、現像時間との関連性を比較てみた。露出条件、現像条件の中電流 (4 mA), 露出時間 (1 分), 撮影距離 (60 cm) および現像液 (フジレンドール) を一定とし, 電圧と現像温度, 現像時間の 3 条件を変えて次の結果を得た。第 2・15 表はその撮影条件を示す。

第 2・15 表 撮影条件

写真番号	フィルム	増感紙	電圧	電流	露出時間	撮影距離	現像条件
IV-1	400	KZ-S	85 kVp	4 mA	1分	60 cm	フジレンドール 20°C 6分タンク現像
IV-2	"	"	"	"	"	"	" 8分 "
IV-3	"	"	"	"	"	"	" 10分 "
IV-4	"	"	90	"	"	"	" 3分 "
IV-5	"	"	"	"	"	"	" 6分 "
IV-6	"	"	"	"	"	"	" 9分 "
IV-7	"	"	100	"	"	"	" 2分 "
IV-8	"	"	"	"	"	"	" 4分 "
IV-9	"	"	"	"	"	"	" 6分 "
IV-10	"	"	90	"	"	"	16°C 6分 "
IV-11	"	"	"	"	"	"	" 8分 "
IV-12	"	"	"	"	"	"	" 10分 "
IV-13	"	"	"	"	"	"	25°C 2分 "
IV-14	"	"	"	"	"	"	" 4分 "
IV-15	"	"	"	"	"	"	" 6分 "

(a) 写真濃度

(i) 現像時間の影響

現像時間だけ変化し他の撮影条件はすべて一定の場合何れのグループにおいても現像時間の増加に伴つて写真濃度の増加が認められた。

(ii) 現像温度の影響

現像温度だけ変化し他の撮影条件はすべて一定の場合現像温度の上昇に伴つて写真濃度の増加が認められ、特に現像温度が 25°C の場合には濃度増加が著しい。

(b) 欠陥検出能力

(i) 電圧と濃度

一般的に低電圧で撮影し試験部の濃度が 1.0~2.0 度になる場合に欠陥検出能力が高いことがよく認められる。すなわち 100 kVp で撮影したものは欠陥検出能力が非常に低く、90 kVp で撮影したものの方が欠陥検出能力が高い。この場合 85 kVp で撮影したものは更に欠陥検出能力が高いと予想されるわけであるが、撮影時間を 1 分にした場合には 85 kVp ではやや露出不足で写真濃度が十分でないため欠陥検出能力は 90 kVp の場合よりも低くなつている。

(ii) 現像温度と現像時間

X 線フィルム #400 に対し適当な露出を行い標準の現像温度、現像時間、すなわちフジレンドールで 20°C 6 分タンク現像を行い適当な写真濃度を得るような撮影結果に比して現像温度、現像時間あるいはその両者を変化させても欠陥検出能力は高くならない。

(iii) 撮影条件

以上の結果からすべての場合に対し結論を下すことはできないが、一般的に云つて現像温度と現像時間を標準の現像温度、現像時間から変化させても、欠陥検出能力の高い撮影結果を期待することは困難である。このため欠陥検出能力の高い撮影を行うには標準の現像温度、現像時間で適当な濃度範囲になるような露出を行うことが必要である。

なお、露出としては低電圧の方が欠陥検出能力が高いが適当な濃度にするためには露出時間が長くなる。実際には1枚当りの露出時間は数分程度にするのが普通であるため、その時の露出時間、すなわち最大許容時間で適当な濃度が得られるような電圧を選ぶべきである。

第3章 熔接部超音波検査能力

3・1 超音波検査による欠陥検出

超音波を使って材料中の傷を検出することは、分野によつては既に広く実用されている。しかし必ずしも工業分野にわたつて使われているわけではなく、時に熔接部の超音波検査は、その方法、目的によつて非常に難易があり、その有効な適用法は研究を要するところである。超音波検査法の特徴とするところは

1) 検査方向の長さをX線より大きくとることができる。

即ち厚板を熔接したボイラーの場合、最近の如く高圧化したボイラーで肉厚の大きいものでは、X線検査が装置の管球電圧、露出時間の点で困難になるのに反し、超音波によれば鋼板中の減衰がX線より少ないので、熔接で問題になる位の距離は充分透過することができる。

2) 超音波検査は検査業務に要する経費が少い。

熔接部をX線検査するには、熔接線の長さに比例してフィルム、現像費等を要する。超音波の場合にも勿論接触媒質としての油が熔接線の長さに比例して消費されるがX線の場合よりは経費が安い。

3・2 熔接部の垂直探傷法

超音波探傷法のうちで最も簡易で、広く使われている方法は検査面と垂直に超音波を入射させる垂直探傷法である。2～10 Mc の超音波インパルスを使えば、鋼板中の 0.2 mm 位の傷も容易に検出されている。したがつて熔接線に平行に母材の端面がある場合にはそれを検査面に使つて熔接部の探傷を行うことができる。また高圧ボイラーの場合のごとく肉厚が厚く、また補強筋を落してある場合には、熔接部に接して、板面に垂直に超音波検査を行うことができる。



第3・1 図 垂直探傷法

垂直探傷法の検査の要領を第3・1図に示す。この方法によつて傷の形状にもよるが 0.2 mm ϕ 位の傷を 2.25～5 Mc 位の周数で検出している。

3・3 熔接部の斜角探傷法

上述のように垂直探傷法は多くの超音波検査において主役をなしてはいるが、熔接部の検査には不適である。そこで熔接線検査を主目的として考案されたのが第3・2図の如く板面から斜に超音波を送り込む斜角探傷法である。即ち探触子と板との間にボリスチロール等で作つた楔をはさみ、板中へ斜に超音波を輻射する。楔の頂角をかえることにより板中へ輻射する超音波ビームの板面との角度を適当にえらぶことができる。その角度は用途に応じて、 $10 \sim 55^\circ$ 位の範囲のものが作られており、(何れも鋼板に対し)また連続的にかえうるものもある、熔接部検査ではこの角度を大きくとつて板中の反射回数を多くするのは得策でない。補強筋部からの不要な反射波が多くなるからである。現在本邦で使われているは屈折角 45° (Sperry 製) および 70° (Kelvin 製) のものが多い。しかし最近は両者共多くの角度の探触子を適用しているので、本回の実験では、Sperry 型、Kelvin 型とも 70° の探触子を使用した。なお 45° と 70° では優劣は明らかなので Sperry 型 45° のものは予備実験だけにとどめた。

インパルス探傷法では超音波を送り出す部分と、受信する部分とを一つの探触子で兼用させる一探触子法と、送信受信別々の探触子を使う二探触子法があるが、斜角探傷法の場合も同様で第3・3図 (a) の如く1個だけ使うものと同図 (b) の如く2個使う場合がある。(a) の場合は楔中の超音波の多重反射による妨害波がプラウン管上に現われて測定者をまざわざことがある。(b) はその点は問題ないが送波及び受波用探触子を適当に向い合わせて、検査したい個所に双方の超音波ビームが集中するよう、熔接線までの距離に応じて角度を選定し直す必要がある。その角度に両探触子を保持するための保持器も作られているが何れにしても一探触子方法に較べると探触子の保持がやつかいなのはやむをえない。

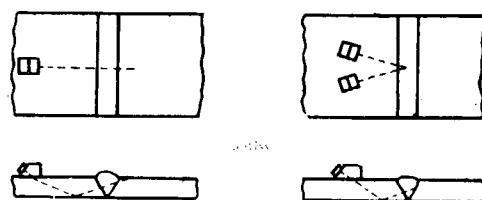
熔接線の検査に際しては熔接部から適当な距離（角度 α と板厚及び反射回数から簡単に算出し得、グラフ化しておける。専用の計算尺もできている）だけ離して探触子を熔接線と平行に移動させながらプラウン管上の反射波形を観察する。

3・4 熔接部の透過探傷法

板中に超音波を透過させると、板中に邪魔物があれば透過がさまたげられる。したがつて、一定量の超音波を送波器から板中へ送りこんでおき、熔接部を通した向い側で受波すると熔接部の傷の有無によつて受信出力が変化する。送受波器の相対関係を一定に保つたまゝ熔接線と平行に移動させれば、健全部と異常部で受信出力が異なるので、それをメーターに指示させ或いは赤ランプをつけることもできる。インパルス法に較べて装置が簡単なので、今日の実験でも Lehfeldt 製 Sonometer によつて



第3・2図 斜角探傷法



(a) 一探触子法 (b) 二探触子法

第3・3図 一探触子法、二探触子法の区別

試みた。

3・5 突合せ熔接試験片による欠陥検出能力の比較

3・5・1 実験装置及び方法

(1) パルス反射式超音波探傷器二探触子斜角法による方法

a) 実験諸元

探傷器: Kelvin 製 Flaw Detector Mark 5

探触子: 送受別斜角探触子

鋼に於ける屈折角 70°

周波数 2.5 Mc

水晶径 25 mm ϕ

接触子接觸面 30 mm × 50 mm

調度: パルス巾 max.

利 得 max.

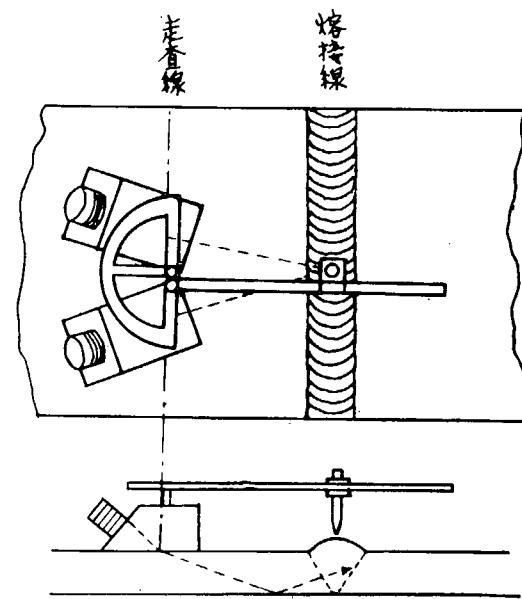
消 去 off

接触媒質: マシン油

試験材表面: 圧延黒皮の儘

探傷位置及び入射方向: 熔接板第2象限に於いて、熔接線に垂直な面に対して対称に送受信探触子を置く(第3・4図)。探傷方向は超音波が裏面で1回反射して斜め下方より熔接部に当るようにする。

走査方法: 熔接線より上記距離の位置を熔接線に平行に連続走査する。記録は 5 mm 間隔にとる。



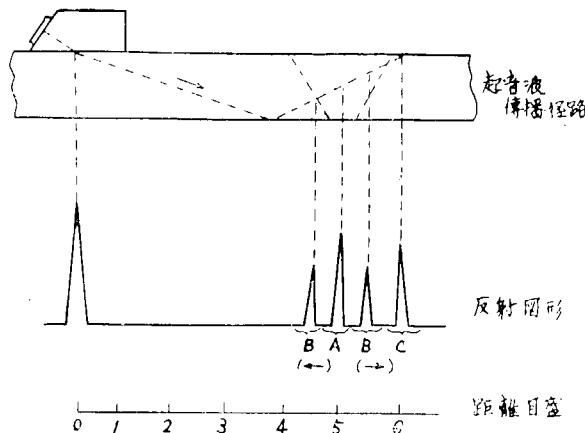
第3・4図

b) 録録图形説明

第5・1図～第5・14図の d_1 , d_2 , d_3 に探傷結果を示してある。同図縦軸はエコーの高さ、横軸は熔接部の位置である。

d_1 図には探傷图形上で、熔接部のほぼ中心に相当する位置に生ずるエコー（第3・5図 A エコー）の高さを各位置に対して記録してある。

d_2 図は探線图形上で、熔接部の中心線をやや離れた位置に相当するところに生ずるエコー（第3・5図 B エコー）の高さを各位置に対して記録してある。同図上 ←印は中心線より手前に生ずるエコーであり →印は先にあるエコーである。



第3・5図

d_3 図は d_2 図に記したエコーより更に先に生じたエコーの高さを記してある。（第3・5図 C エコー）

(2) パルス反射式超音波探傷器 I 探触子斜角法による方法

a) 実験諸元

探傷器： 東京計器製スペリー式 II型探傷器

探触子： 送受共用斜角探触子

鋼に於ける屈折角 66°

周波数 2.5 Mc

水晶径 25 mm ϕ

接触子面積 30 mm \times 50 mm

探傷器周波数 2.25 Mc

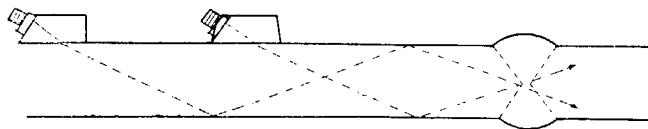
調度： パルス巾 3

利 得 max.

消 去 off.

同 調 9.3

接触媒質： マシン油



第3・6図

試験材表面： 壓延黒皮のまま

探傷位置及び入射方向： 熔接板第2象限上で、 熔接線に垂直に探触子を向ける。 熔接線との距離は板の表裏面で1回以上超音波が反射して熔接部に当るような位置にて行う。(第3・6図)

走査方法： 熔接線より上記距離の位置を熔接線に平行に連続走査する。記録は5mm間隔毎にとる。

b) 記録图形説明

第5・1図～第5・14図eに探傷結果を示してある。同図縦軸は熔接部よりのエコーの高さ、横軸は熔接部の位置である。

また同図中央上の図は熔接部近傍に於ける超音波の伝播方向を矢印を以つて示してある。

(3) 連続波透過式超音波探傷器による方法

(1), (2) の方式は超音波のパルスを発射するのに対し、この方法は連続的に超音波を発射する。また(1), (2) の方式が超音波の傷からの反射波をとるのに対し、この方法は傷の部分で減衰する割合を調べるのである。今回行つたのは第3・1表に示すレーフェルト社のソノメーターと称する装置である。ソノメーターには樹脂製及び金属製の各種の接触子が附属し、特に球座を有するものは表面に若干の凹凸があつてもよく超音波を入射させるので便利であるが、今回試作した各種の板型熔接試験片の表面は種々雑多で、その黒皮の表面粗なものに対しては、球座を有する接触子を用いても一様な入射が不可能であると共に、熔接母材は材料毎に減衰度が異なる。更にまた表面の粗さによつても入反射の際の減衰が異なる。これ等を試験片毎に検査して補正し、欠陥の大きさ及び熔接部の減衰の大きさに比例させた測定直を求める必要がある。そこで今回は次に述べる特別のペネトラメータを用いた

第3・1表 レーフェルト社のソノメーター Typ II の諸元

発振周波数	2.85 Mc/s
受信可能帯域巾	180 kc/s
発振器の帯域巾	130 kc/s
変調周期	50 c/s
超音波出力	1 mW～1 W
増巾度	1～1000
感度ダイヤルを“high”にした時の最大測定電圧	3 mV
感度ダイヤルを“low”にした時の最大測定電圧	0.3 mV
計器の指示範囲(感度ダイヤル無関係)	0.3 mV

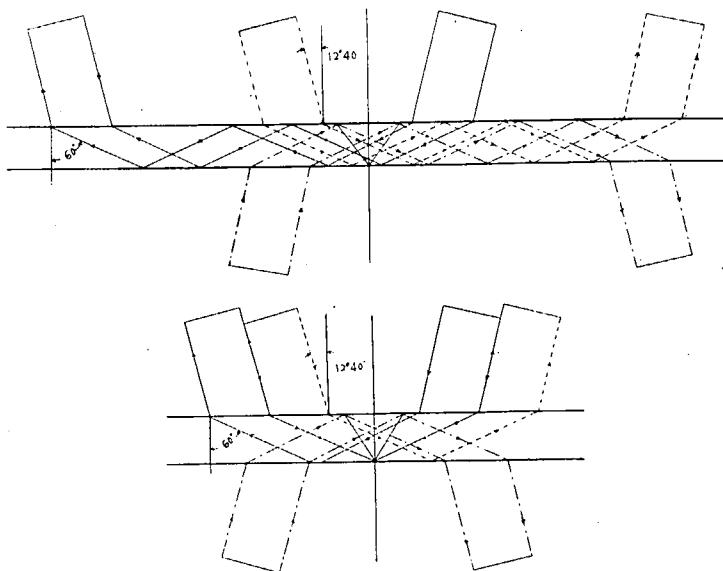
第3・2表

試験片番号	出力ダイヤル	感度ダイヤル	ペネトラメーター(mm)
202	4.8	3	4
212	4.0	2.0	4
24	3.8	3	4
3	4.3 (4)	1.2 (1.2)	4 (3)
8	3.8	1.2	4
91 (ビードあり)	6	4.25	3
91 (ビード削正)	4.5	1.2	4
125	5	2	4

水浸法によつて試験を行つた。

水浸法とは接触子の端から下試験片までを水中に没して試験する方法である。この方法では次に述べるペネトラメーターを用いることができのみならず、表面の凹凸にそれほど鋭敏でないのが特徴である。測定を行う出力及び感度を定めるには次の方法を用いた。即ち試験片を予め超音波探傷して、熔接部外で欠陥が無い場所を探す。その場所で熔接部の検査を行うと同じ状態に接触子を配置する。ただ接触子の軸線に平行に一定の太さの鋼棒（ペネトラメータ）を試験片上に水中に置く。ペネトラメーターによる減衰によつて丁度パイロットランプが点く（目盛4）ように出力及び感度を調整する。このようにして定めた出力及び感度目盛を第3・2表に示す。そのような条件で試験することは、欠陥のない鋼板にペネトラメーターの直徑と同じ直徑の孔を鋼板面に平行にあけたときの減衰とほぼ等価である。従つてこのようにしてパイロットをつける減衰を与える位置を求めるることは、各試験片に同径の孔をあけて、減衰量をその孔による減衰に合せたのと同じ効果がある。

検査に当つては厚板に対しては一回反射、薄板（12～14 mm）に対しては3回反射による減衰を求めた。その模様は第3・7図に示す。接触子は熔接部検査用の枠に取付け、熔接線の両側に取付けたレールの上を接触子枠をころがしながら試験した。



第3・7図

試験結果（第5・1図～第5・14図f）は横軸に長さ、縦軸に減衰量を示す。目盛0は減衰が大きく、目盛4はφのペネトラメーターの減衰と等しい減衰、即ち鋼板にあけたφの孔の減衰と等しい減衰を示すことを示す。目盛8～7は減衰が非常に少いことを示す。

鋼中の超音波の減衰は種々の原因によつて増加する。それ等の或るものは疲労強度に影響があると考えられるが、或る原因は疲労強度と余り関係がないと考えられる。従つて鋼の減衰と疲労強度とを直接結びつけることは現在の段階では不可能である。然し欠陥に基く減衰は比較的に大きいので、熔接が一様に行われているなら、欠陥の部位は他の部位より減衰が大きいということにより検出でき、

金体に分布している欠陥は同じ熔接法の他の欠陥のない熔接部より減衰が甚だしいと云うことで判別し得る。然しこの方法だけでは適確に欠陥の大きさ位置を知ることは不可能である。ただこの方法は検査速度が早く、他の超音波検査より簡便であることに特徴がある。従つてこの方法は予備検査的な試験や、品質管理用の試験には好適である。

3・5・2 実験結果

第1章記載の熔接試験片約40枚について実験を行つた代表的なもの7枚について補強盛切削前後のデーターを第5・1~5・14図に示した。また検査例として Kelvin 製探傷器による結果と X線との個々の比較を3・5・3に示す。

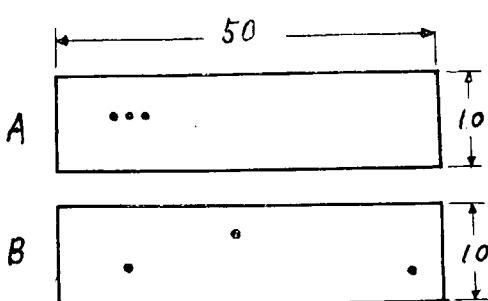
超音波による熔接部検査の結果を総合すると

- 1) 熔接部の検査には斜角探傷法がよい。
- 2) 扇折角 45° のものよりも 70° のものの方がよい。
- 3) 補強盛のある場合はその反射波が検査をさまたげるため大きな傷しか検出できない。
- 4) 母材の面が悪いと検査できない。
- 5) 板厚約 12 mm 以上のものでは探触子を熔接線に平行に滑らせるだけでなく、第3・6図の如く前後にも動かす必要がある。
- 6) 直線検波方式と二乗検波方式の優劣は今後の検討を要する。
- 7) 一探型より二探型の方が近距離で探傷できる。

3・5・3 超音波と X線による熔接部欠陥検査能力の比較

3・5・1 の実験を X線写真と較べた結果を総合すると

- 1) 補強盛のある場合は双方共検査結果が不安定で大きな傷の場合しか一致しない。
- 2) 補強盛を落すと、X線で現れた単独の傷は全部検出できる。
- 3) 逆にX線写真で欠陥が認められなくても、反射波の現れる場合があり、これは何らかの欠陥の存在することを示すものと考えられる。
- 4) 割れの場合は良く検出できる。
- 5) 板面に垂直な小さなクラックは強度的には影響が大きいにもかかわらず X線では小さく現れるが超音波を使えば相対的に大きく検出される。
- 6) 小欠陥が集合してある場合には反射波高は欠陥数に比例しては高くならない。反射波の巾が広くなる。



第3・8図

- 7) したがつて例えば第3・8図の場合、Aの方がBよりも反射波は強く出る。X線の級別の判定法では AB 共同級になる。

このように超音波検査結果はX線による結果と本質的に違ひ得るものであり早計に双方の優劣を決めることはできない。検査の簡便性の点で超音波が優れ、検査の正確さに於いてX線が優る。特に厚板の場合X線の欠点を超音波が補つている。金体としてもX線検査と超音波検査は相補つて効果

を發揮すべきものと考えられる。

第4章 熔接部磁粉検査能力

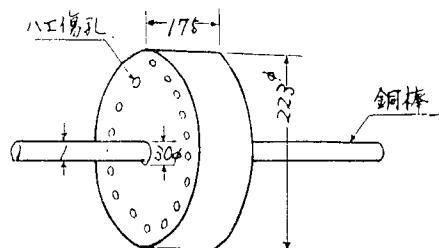
4・1 基礎試験

磁粉探傷とは、強磁性体よりなる材料部品を磁化し、表面附近にある欠陥に基く漏洩磁束によつて磁粉を凝集させ、欠陥の存在を知ろうとする方法であり、表面に出ている欠陥に対し、鋭敏なことは勿論、相当深いところにある欠陥に対しても、その方法さえ適當ならば発見可能なことが解つた。

4・1・1 円筒形大型試験片による実験

人工的の内部欠陥の例として、第4・1図の如く直径 223 mm 長さ 175 mm の軟鋼に、週に多数の小孔を深さ及び大きさを変えてあけ、その中央にあけた 30ϕ の孔に $1''$ の銅棒を通し、これに電流を通して、表面に検査液を適用した。その結果を第4・1表に示す。

表中△は辛じて磁粉模様が判る程度、□は普通の強さ、○は極めて明瞭な磁粉模様を示す。



第4・1図

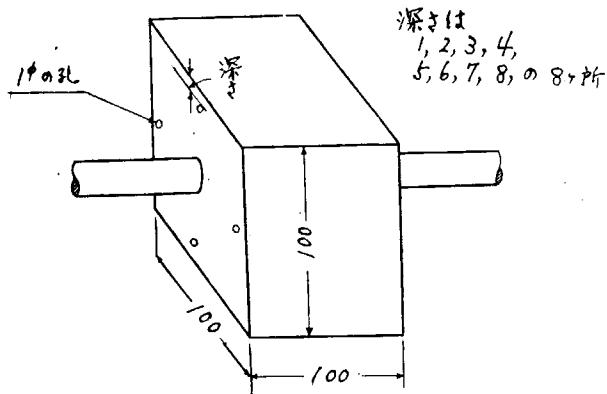
第4・1表

磁化電流 (A)		2500						5000						磁化電流 (A)		2500						5000					
孔の 直径 (mm)	孔の 深さ (mm)	通電時間 sec		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	通電時間 sec		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	通電時間 sec		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$		
		△	□	△	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1	2	△	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1	3	△	□	△	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1	4																							△	□	○	
1	5																								○	○	○
1	6																								○	○	○
1	7																								○	○	○
1	8																								○	○	○
1	9																								○	○	○
1	10																								○	○	○
2	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	3	□	□	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	4	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	5						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	6						△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
2	7						△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
2	8																								○	○	○
2	9																								○	○	○
2	10																								○	○	○
3	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	5	□	□	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	6	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	7						△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	

4・1・2 角型試験片による実験

人工欠陥として、 $100 \times 100 \times 100$ mm の各辺の中央に表面から各深さのところに $1 \text{ mm} \phi$ の孔をあ

け、中央にあけた孔に銅棒を通して、銅棒に電流を流し、磁粉模様の現われる様子をしらべた。試験片の形は第4・2図に示し、その結果を第4・2表に示す。



第4・2図

第4・2表

磁化器	孔の深さ mm	電流A							
		1	2	3	4	5	6	7	8
半波	1000	○							
	2000	○○	□						
	3000	○○	○	△□					
	4000	○○	○	△○					
	5000	○○		○	△△○		△□	△	
コンデンサー式	1500	○	□						
	2000	○○	○○	○					
	2500			○○	○				
	3000			○○	○	□			
仙台管式	1000	○	□						
	1500	○○	○						
	2000	○○	○○○						
	2500	○○	○○○						
	3000	○○	○○○		□				
交流	1000	○	○○						
	2000	○○	○○						
	3000	○○	○○○						
	4000	○○	○○○						
	750	△	□○○						
極間法(AT)	900								
	1050								
	1500								
	1800								
	2100								
	2400								
	3700								
	3000								
	3300								
	3600								
	3900								
	4200								
	4500								
	4800								
三相全波整流	5100								
	5400								
	5700								
	6000								
	6300								
	6600								
	850	○							
	2000		○						
	3000			○					
	4100			○					
	5400			○					

4・1・3 結論

以上二つの実験から、次のことことが判明した。

- (1) 欠陥が小さいほど大きい電流を要す。
- (2) 欠陥が大きくなれば深いところにあるものまで検出し得る。
- (3) 通電時間は長いほどよいが、装置や試験片を焼損する恐れがあるため限度がある。
- (4) 電流波形によつて同じ電流でも欠陥検出能力が異なる。

次に $1 \text{ mm}\phi$ の孔の検出可能の限界の深さを記すと

- (5) 交流では最も内部欠陥検出能力があり、 4000 A で深さ 3 mm まである。
- (6) 仙台管式はその次に位し、 3000 A で深さ 4 mm まであり。
- (7) コンデンサー法は 3000 A で深さ 5 mm まで。
- (8) 単相交流の半波整流では 3000 A で 5 mm , 5000 A で 7 mm まで。
- (9) 直流極間法、及び三相全波整流では確実に深さ 8 mm まで検出可能であるが、相当な大電流または大きいアンペアターンを要する。
- (10) 従つて、厚さ 16 mm 程度までの鉄板なら、その熔接部の欠陥を画面から磁粉探傷によつて調べることは可能である。但し、各種欠陥の検出限度は実験によらねばならない。

4・2 熔接部の磁粉探傷の基礎実験

現在一般に使用されている磁粉探傷装置は直流水電流を極く短時間通電して磁化を完了する形式のものが多い。これらは焼割れ、研磨割れ等欠陥が表面に露出している場合や、疲労傷、偏析等の非常に表面に近い場合には極めてよい結果が得られる。しかし最近諸工業の発達に伴い、高度の機械的性質が部品や材料に要求されるようになり、従つて相当深部に存在する種々なる内部欠陥の検出が必要になつて來た。

磁気粉末検査法を内部欠陥の検出に應用することはその性質上非常に困難である。しかしこれが應用できるならば装置並びに操作が比較的簡便であるため、大量の製品に対する全数検査等には極めて有効な方法と思われる。

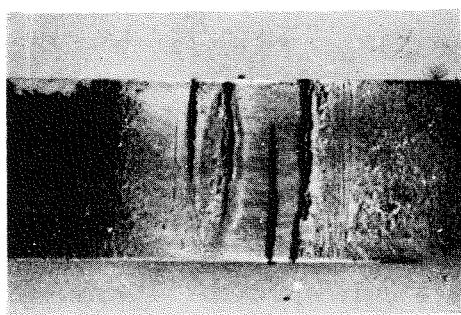
従来の磁探傷装置より更に強力な磁束と、より長い通電時間を使用できる電磁石式連續磁化法を用い、薄板の熔接部に発生する内部欠陥に対し検査した結果をX線透過検査結果と対比し、或る程度の確実性を認めた。直流電源としては直流熔接機をそのまま利用している。検査用磁気粉末は磁気録音用テープ材料を容器素地と充分コントラストを有するようにし、その感度を調整したものをケロシンに懸濁させて用いた。

4・2・1 試験結果

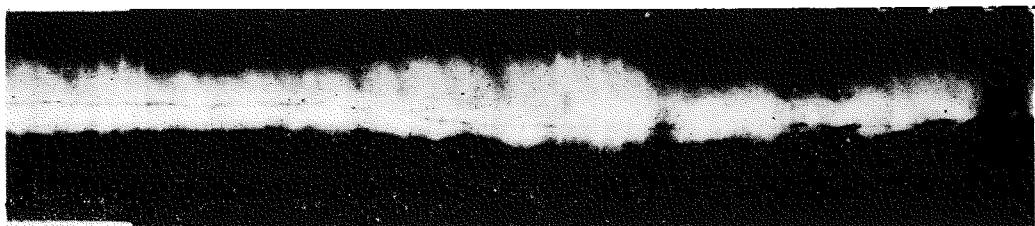
連續磁化法は非常に欠陥検出感度が高いと同時に目的とする欠陥以外の原因、すなわち表面の凹凸、熱影響による組織、応力の変化、または纖維組織等所謂磁気的不連続に対してはすべて指示模様が観察される。従つてその目的とする欠陥の観察は相当困難である。特に熔接部をビードのまま仕上げをせずに検査するには種々なる場合の指示模様をX線透過検査等で比較検討しておかなければ完全な検査は行われ得ない。第4・3図は鋸歯の熔接による熱影響に基く指示模様である。第4・4図は圧延



第 4・3 図 鋸の焰接熱影響部の指示模様



第 4・4 図 圧延組織の指示模様

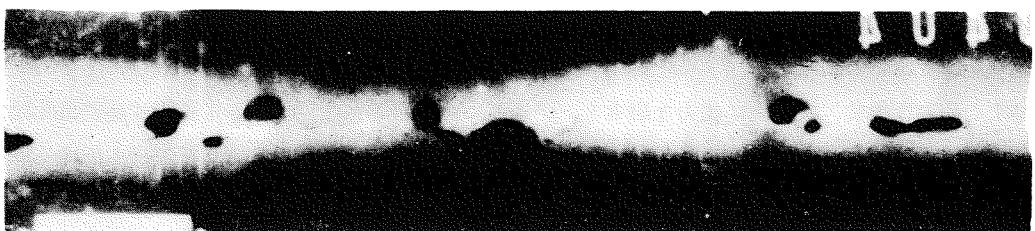


X 線透過写真

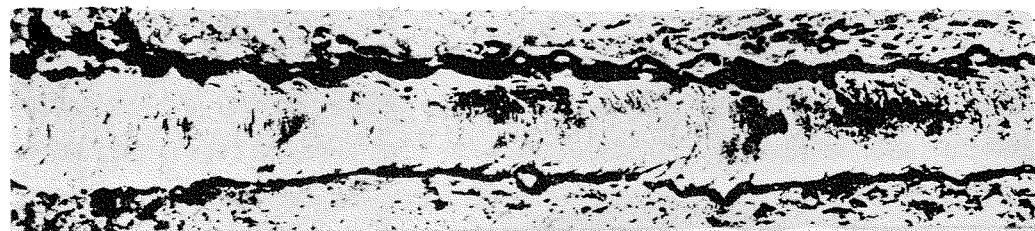


磁粉検査

第 4・5 図 割れ, アンダーカットの指示模様

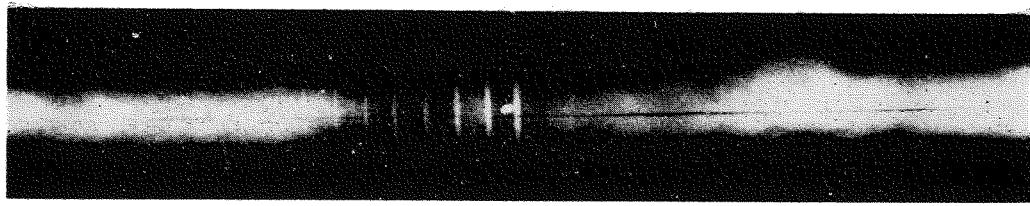


X 線透過写真

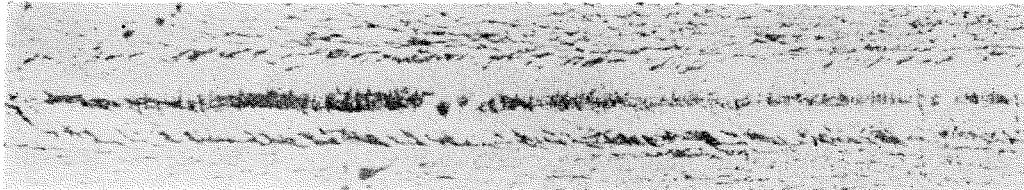


磁粉検査

第 4・6 図 スラッグ, アンダーカットの指示模様

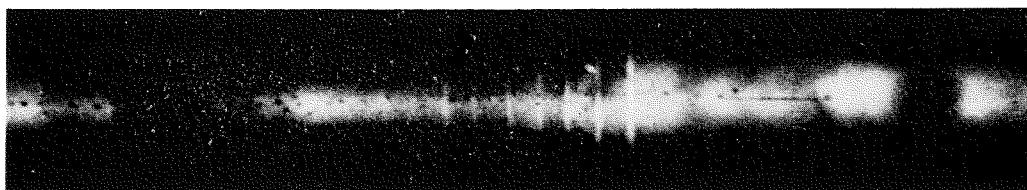


X線透過写真

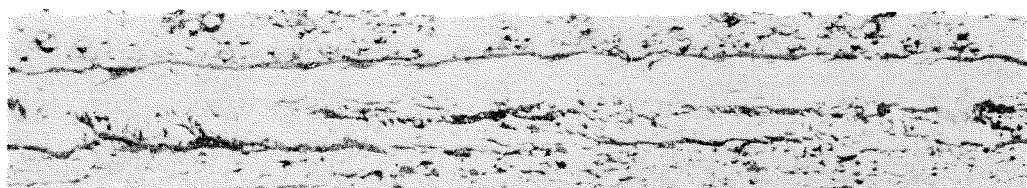


磁粉検査

第4・7図 溶込不足の指示模様

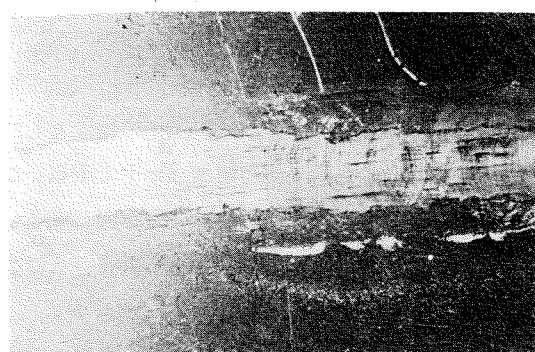


X線透過写真



磁粉検査

第4・8図 溶込不足, プローホールの指示模様



第4・9図 余盛を削り取つた場合のプローホールの指示模様

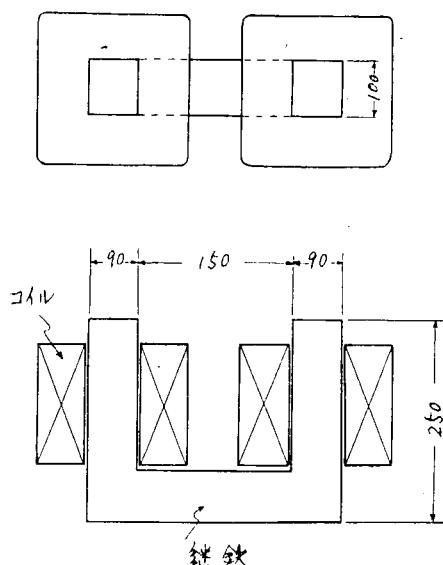
組織の指示模様の一例である。

熔接部の指示模様は第 4・5~4・8 図に示すように熔接特有のビードの波、アンダーカット、母材二番の表面の粗さ等すべてが非常に明かに観察され、小さな欠陥はこれに禍されてしまうことが多い。溶込不足、割れ、大きいスラッグ等は明瞭に指示される。プローホールは 4~5 mm の細線となつて第 4・8 図のごとく無数に現れるので発見出来る。第 4・9 図はビードを削り取った場合のプローホールの指示模様である。第 4・5 図第 4・6 図の欠陥は板厚 16 mm で相当深く存在する欠陥であるが比較的鮮明な指示模様が得られる。

4・3 突合熔接試験片による磁粉探傷試験

基礎試験によつて、極間連続磁化法が最もよく内部欠陥を検出することが判つたので、今回製作した突合熔接試験片の検査はすべて極間連続磁化法によつた。

試験装置は第 4・10 図に示す如く、断面積 90 mm × 100 mm 極間距離 150 mm の馬蹄形電磁石の各脚に 1500 回巻き線をほどこしたもの用いその上に突合熔接試験片をその熔接線が、磁極を結ぶ線に直交するように配置し、20 A 流した状態で検査液を適用した。磁粉には赤色磁粉を用い、液体媒剤には灯油を用いて試験し、電流を流している間に写真を撮影した。



第 4・10 図

第 4・3 表

プローホール	表面に極く近いか相当大きいものはよく出る。又或線上に集つてゐるか集団をなしてゐる場合は分る。
パイピング	表面に極く近いか、相当大きいものでないか出難い。
スラッグ	比較的大きいスラッグは、表面から遠くなれば明瞭な磁粉模様が見られる。特に直線状スラッグはよく解る。
融合不良	殆どすべて見つけることが出来る。
溶込不足	非常に明瞭に直線状の指示が得られる。
縫割れ	非常に明瞭に判る。
横割れ	磁化の方向を熔接線に平行にすると明瞭に判る。
アンダーカット	非常に明瞭

X線透過写真と比較すると次の如くなつた。即ち、磁粉探傷の特性として、表面に極く近いものは非常に明瞭であるが、表面から遠くなるに従つて磁粉模様はボケて来る。これに対し X 線写真は表面からの距離に無関係に示される。また、磁粉探傷に於ては両検査面と交るわれ等の不連続面があると非常に鋭敏に磁粉模様が現れるのに対し、X 線では厚さが零に近い割れは非常に判別し難い。これ等の諸特性を記述すると第 4・3 表の如くなる。

なお今回は実験を誤り、ビードある時の正確なデータが得られなかつたのでこれを載せてない。総てビードのない時の結果についてである。

第5章 熔接部 X線、超音波および磁粉検査の比較

X線超音波及び磁粉検査の特徴を調べ、それ等の欠陥検出能力を比較するために故意に欠陥ができるように熔接して多數の板型熔接試験片を作つた。これ等に対し先づX線写真を撮り、各種類の典型的な欠陥を有する試験片を選び出した。選び出した39枚の試験片を第5・1表に示す。これ等に対し先づビードがある状態でX線透過、超音波及び磁粉検査を行つた。超音波及び磁粉検査の方法は第

第5・1表

試験片番号	欠陥の種類	板厚(mm)	試験片番号	欠陥の種類	板厚(mm)
161	プローホール	12	69	直線状スラッグ	10
162	"	12	106	"	16
103	"	13	204	"	12
201	"	12			
68	"	10	87	融合不良	15.5
202	"	12	34	"	12
180	"	12	92	"	13
122	"	16	3	"	16
101	バイビンダ	14	205	溶込不良	12
210	"	16	61	"	19
211	"	16	62	"	19
212	"	16	8	"	22
213	"	16	36	"	12
214	"	16	127	"	12
215	"	16	128	"	12
94	形状雑多なスラッグ	14	100	縫割れ	13
21	"	12	111	"	16
23	"	12	91	"	15.5
24	"	12	133	"	10
203	"	12	125	横割れ	14

3・4章に記した通りである。次でビードを削り取つてから全く同じ方法で検査を行つた。第5・2表はそれらについて行つた超音波探傷の結果である。X線、磁粉検査結果については全部を載せられないもので、その中の各欠陥の代表的なもの1枚づつを選び欠陥検査の結果を第5・1図～第5・15図に示す。これ等の図中の右端にあるa₁a₂…fの各欄の内容は第5・3表に示す通りである。またそれ等の表示方法は第4章に於て説明した通りである。X線透過写真撮影の条件を第5・4表に示す。の所見は第5・5表の通りである。

第5・2表 Kelvin 製超音波探傷器による熔接部欠陥検出能と X 線像との比較

試験片番号	欠陥による分類	探傷結果と X 線写真対応
161	プローホール	加工前は A, B 及 C 共に反射波が現われて居る。 加工後は A, C には反射波が現われて居ないが B には現われて居り、其の傾向は加工前のものと良く似て居る。但し、写真と反射波とは相応していない。
162	プローホール	加工前は A には左端の大きな欠陥に対応する反射波が現われて居ないが、左より 130 mm の個所及 210 mm の個所の山は欠陥群に対応して居るように思われる。B には左端の欠陥に相当する反射波が高くなつて居り左端より 150~200 mm の間を除き反射波の傾向は欠陥群に対応して居るように思われる。 加工後は、A の左端の反射波および左端から 120 mm の反射波は欠陥に対応して居るようと思われるが左端から 200 mm より右に存在する欠陥に対応する反射波は現われて居ない。B の反射波は一部を除き欠陥部にほぼ対応して居るようと思われる。
103	プローホール	加工前後共、欠陥に対する反射波が現われて居るが、加工前は勿論、加工後も写真には欠陥の見受けられない個所からの反射波が相当現われて居り判定は不可能である。
201	プローホール	加工前後共、A, B を総合すれば欠陥に一致する所もあるが、反射波の高さは、欠陥の大きさには比例していない。
68	プローホール	加工前は、反射波と、欠陥が一致していないが加工後は一致している個所もあるが、写真に欠陥が無い所からも反射波が現われている。
202	プローホール	小さな欠陥が中広く全長に渡つて存在している。反射波も全長に渡つてかなり高く現われて居り、総合すれば欠陥群と一致していると思われる。尚加工後の反射波は加工前よりも全般的に低くなつていて。
180	プローホール	小さい欠陥（プローホール）が全長に渡つて存在するが反射波も全長に渡つて現われて居り、A, B を総合すれば欠陥群に対応する個所もあるが、全般的には必ずしも対応していない。
122	プローホール	加工前後共、A, B を総合すれば比較的良く一致して居る。
101	パライプ	加工前後共、A, B を総合すればほぼ欠陥に対応して居り、反射波の高さも、ほぼ欠陥群の大きさに比例して居る。
94	雑多なスラッグ	加工前は、A の方が対応して居るが B は写真に欠陥が現われて無い個所からも反射波が現われて居る。加工後は A, B を総合すればかなり良く対応して居る。
21	雑多なスラッグ	加工前後共、A, B を総合すれば反射波は欠陥に対応して居る。
23	雑多なスラッグ	加工前は、A はかなり欠陥に対応して居る。加工後は写真の左端に大きな欠陥があるのに A に現われて居ないが、A, B を総合すればほぼ対応して居る。
24	雑多なスラッグ	加工前後共、大きな欠陥の個所はいずれも反射波が高くなつて居るが、小さな欠陥がある個所からもかなりの反射波が現われて居る。
203	雑多なスラッグ	加工前は A だけでもほぼ対応して居るが、A, B を総合すればより良く対応しており、加工後の探傷結果の方が一層良く対応している。
106	直線状スラッグ	加工後は、加工前に比較して、A, B とも反射波の高さは低くなつていてが其の傾向はほぼ同一で欠陥に対応している。
204	ウェーピング不良によるスラッグ	加工前後共、A, B を総合すれば比較的欠陥と一致して居る。
87	融合不良	加工前後共欠陥に対応する反射波は出て居るが、写真に欠陥が現われて無い個所からも反射波が現われて居る。

試験片番号 欠陥による分類

探傷結果とN線等対応

34	融合不良	融合不足が殆んど全長に渡つてゐるが、A, B を総合すれば反射波も全長に渡つて出ているが加工後は加工前に比べて、A, B の反射波はかなり低くなつてゐる。
3	融合不良	加工前は、加工後に比べるとすべて欠陥波高が低く、欠陥とはあまり一致していないが、加工後は総合すれば欠陥群と一致している。
205	溶込不足	溶込不足及他の欠陥が全長に渡つて出て居るが、反射波も A, B を総合すれば全長に渡つて出て居る。
8	溶込不足	加工前後の反射波の傾向は似て居るが総合すれば、加工後の方が反射波と欠陥が一致している個所が多い。
36	溶込不足	加工前後共、反射波の傾向は似て居るが、加工後の方が A が特に低くなつて居る。A, B を総合すればほぼ欠陥に対応して居る。
127	溶込不足	欠陥は全長に渡つて出て居るが、加工前後の A の反射波も全長に渡り極めて高く出でている。
128	溶込不足	全長に渡り溶込不足があるが、A の反射波も全長に渡つて極めて高く出でている。この場合 B の反射波は極めて低くかつた。
100	縦割れ	加工前後共 A, B を総合すれば欠陥と良く対応している。かつ A, B の反射波の傾向は加工前後とも殆んど同一である。
111	縦割れ	加工前後共、B には全長に渡つて現われて居るが、A には欠陥があるにもかかわらず反射波が現われていない所もある。
91	縦割れ	加工前後共総合すれば、欠陥はほぼ一致しているが、加工後の方が加工前よりも一致している。
133	縦割れ	欠陥は全長に渡り存在するが、反射波も全長に渡つて現われている。A, B を総合すれば加工前後の反射波の傾向はほぼ同一である。
125	横割れ	加工前後共 A, B を総合して見れば欠陥に対応して居ると思われる。
210		加工前は、A, B 共に反射波は全長に渡つて現われて居るが、欠陥とはあまり一致しない。加工後は加工前に比べると B の反射波が低くなつて、A の反射波が高くなつてゐるが、A, B 総合すれば欠陥と良く一致して居る。なおビードからの反射波と思われる C は加工後は現われていない。
211		欠陥は全長に渡つて存在して居り反射波も、A, B 総合すれば全面に渡つて現われて居るが、写真上の欠陥の大きさと反射波の高さとは殆んど一致していない。又、加工後は加工前に比べると B の反射波が著しく低くなり一方 A の反射波が高く現われて居る。
212		加工前は B は欠陥と反射波は一致していないが A は中央の反射波を除き一致している。加工後は B の方が欠陥と反射波が一致している。
213		加工前後共、写真に欠陥が見受けられない個所からもかなり高い反射波が現われて居る。又加工後は C の反射波は現われなくなり B の反射波も低くなつてゐる。
214		加工前後共、A の反射波の方が欠陥と一致しているようである。尚加工後は、写真では欠陥が見られない個所からもかなりの反射波が現われている。
215		溶込不足が全長に渡つて現われて居り、A, B を総合すれば反射波も全長に渡つて現われて居るが、欠陥の大きさと反射波とは必ずしも比例していない。

註 1) 検査方法第 3・5・1 章 (1) 項参照。

2) 本表中 A.B.C. の附号は、第 3・6 図中のエコー A.B.C. に大々対応する。

第5・3表

a ₁ 外観写真表	a ₂ 外観写真裏	e ₂ 磁粉模様の写真裏
d ₁ , d ₂ , d ₃		ケルビンによる測定結果
b X線透過写真	c	スペリーによる測定結果
e ₁ 磁粉模様の写真表	f	ソノメーターによる測定結果

第5・4表 X線透過写真撮影条件

ビードを仕上げないもの

番号	X線装置	管球電圧 kVp	管球電流 mA	露出時間 (分)	フィルム	増感紙	距離 cm	現像液	現像時間 (分)
202	—	—	—	—	—	—	—	—	—
212	ザイフェルト・イ ゾボルト・400	240	6	1	フジ 80	Pb 0.03 mm	78	—	20°C 5分
24	—	120	3	0.6	フジ	Acme	44	FD-11	"
3	—	125	4	1.5	フジ 400	KZ-F	60	FD-R	"
8	—	140	3	1.7	フジ	Acme	44.5	—	—
91	—	180	5	3	フジ 400	Pb	80	FD-111	20°C 5分
125	—	126	5	1.5	"	KZ-F	"	"	"

ビードを仕上げたもの

番号	X線装置	管球電圧 kVp	管球電流 mA	露出時間 (分)	フィルム	増減紙	距離 cm	現像液	現像時間 (分)
202	ザイフェルト・イ ゾボルト・400	225	6	1	Kodak M	Pb 0.03 mm	78.5	FD-R	20°C 5分
212	"	255	"	"	"	"	58	"	"
24	"	225	"	"	"	"	78.5	"	"
3	"	255	"	"	"	"	78.1	"	"
8	"	295	"	"	"	"	77.5	"	"
91	"	240	"	"	"	"	78.3	"	"
125	"	225	"	"	"	"	"	"	"

第5表

試験片番号	所見	備考
202.	欠陥の種類 X線所見 ケルビン所見 スペリー所見 ソノメーター所見 磁粉所見	プローホール 熔接部一面にプローホールが散在している。 単独の大きいプローホールには対応する。 然し、簡々の小さいプローホールに対応していない。 全体的に減衰が大きい点では合つている。 表面に近いものののみが出るが、表面近くにも沢山のプローホールがあることがわかる。

212.	欠陥の種類	パイピング
	X 線 所 見	左側に面に垂直なパイピング右側に傾斜したパイピングがある。
	ケルビン所見	両方のパイピング共よく対応する。
	スペリー所見	左側はよく判るが右側は判らない。
	ソノメーター所見	左側のはよく判るが、右側のは判らない。
	磁 粉 所 見	右側のパイプは出るが、左側のは判らない。
24.	欠陥の種類	形状雑多なスラッグ。
	X 線 所 見	左側と右側に大きなスラッグ群がある。
	ケルビン所見	ビード削正前後とも大きいスラッグからの反射波は明瞭である。小さい欠陥からの反射波も見られる。
	スペリー所見	加工前は左右とも解る。加工後も大体一致しているが、右側の反射波が却つて減少している。
	ソノメーター所見	実線が大体一致している。
	磁 粉 所 見	大きい欠陥はよく対応している。
3.	欠陥の種類	融合不良
	X 線 所 見	左側に2線の不連続な融合不良があり、中央から右に相当長い融合不良の線がある。
	ケルビン所見	加工前は余り明瞭でないが、欠陥と反射波とは大体対応出来る。加工後は欠陥群とよく対応した反射波がある。
	スペリー所見	加工前後ともほぼ欠陥との対応が出来る。加工後の方がよく一致している。
	ソノメーター所見	X線で平面的に見えるものが、色々な深さにあることがわかり、よく対応している。
	磁 粉 所 見	欠陥の中表面に近いものと、裏面に近いものとかよく解り。大体対応している。
8.	欠陥の種類	溶込不良
	X 線 所 見	左側に溶込不良があり、全長に亘つて不連続な融合不良がある。
	ケルビン所見	溶込不良からの反射波は左端に於ては加工前後とも明瞭だが、左端より 60 ~ 70 mm 附近では手前にある欠陥が邪魔する為か明瞭でない。
	スペリー所見	加工前後ともほぼ欠陥と対応している。然し、右側の融込み不良はよく一致するのに對し、融合不良は明瞭でない。
	ソノメーター所見	融合不良が全長に亘つてるので溶込不足は明瞭でないか、全体として減衰が多いことが判る。
	磁 粉 所 見	左端照明むらのためよく解らないが、他の試験片から推定するところの程度の融合不良は非常によく解る。裏面に近い融合不良は非常に明瞭である。
91.	欠陥の種類	縫割れ。
	X 線 所 見	縫割れは左端から 150 mm 遠延び、全長にわたつて融合不良がある。
	ケルビン所見	加工前後ともおおむね一致しているが、加工後の方がよく一致している。
	スペリー所見	X線の所見とほぼよく一致している。
	ソノメーター所見	箇々の山の説明はつくが、それだけからではどんな欠陥があるかは判らない。

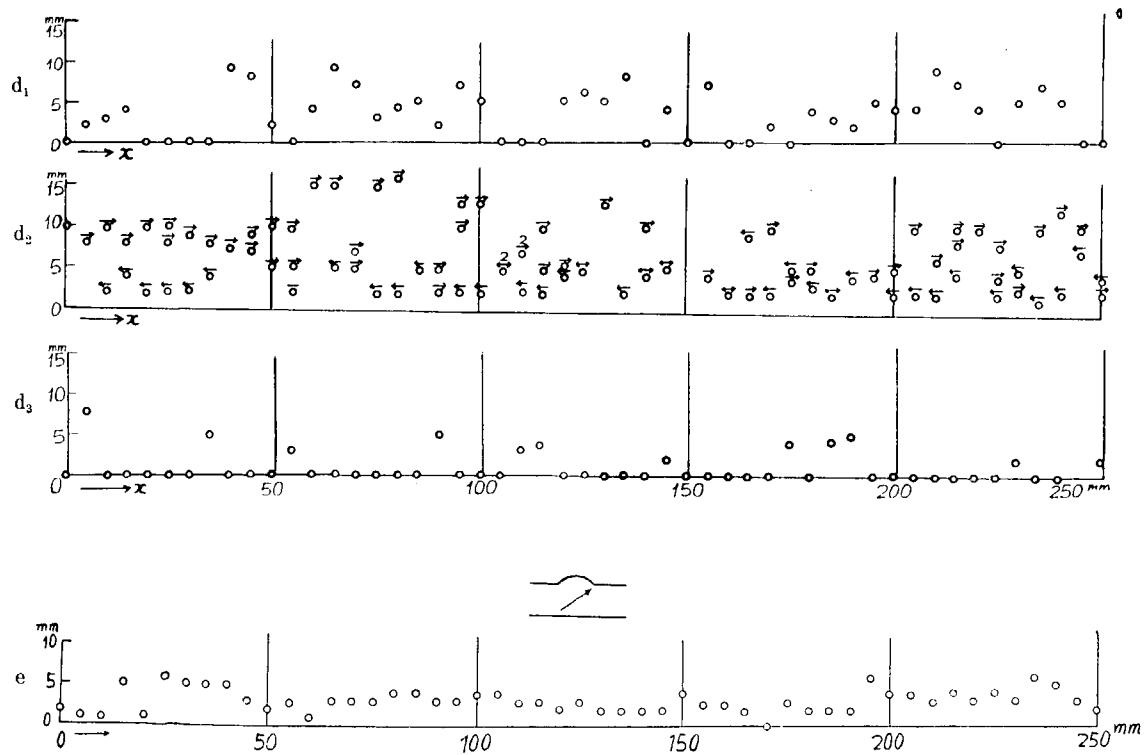
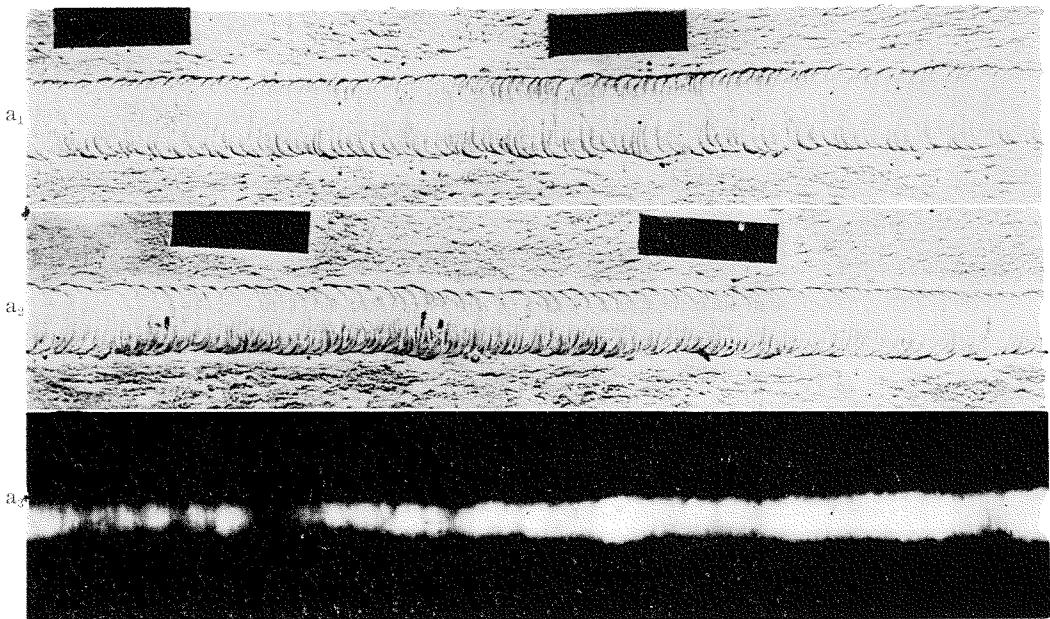
91.	磁粉所見	割れは裏面に近い裏ため面に非常に明瞭であり、融合不良は表面に近いため表面側に非常に明瞭である。
125.	欠陥の種類	横割れ。
	X線所見	全体に分布したプローホールがあり、中央部附近に数個所横割れがある。
	ケルビン所見	プローホールの集団と反射波とが対応している。
	スペリー所見	プローホールの群との対応はあるが横割れは判らない。
	ソノメーター所見	プローホールが沢山あるために全体として減衰が多い。
	磁粉所見	プローホールが沢山あることは解る。第5・14図には前に述べた磁化方法を用いたが、第5・15図にこれと直角方向に磁化したものを見ると、これによれば横割れが非常に明瞭なことがわかる。

結論

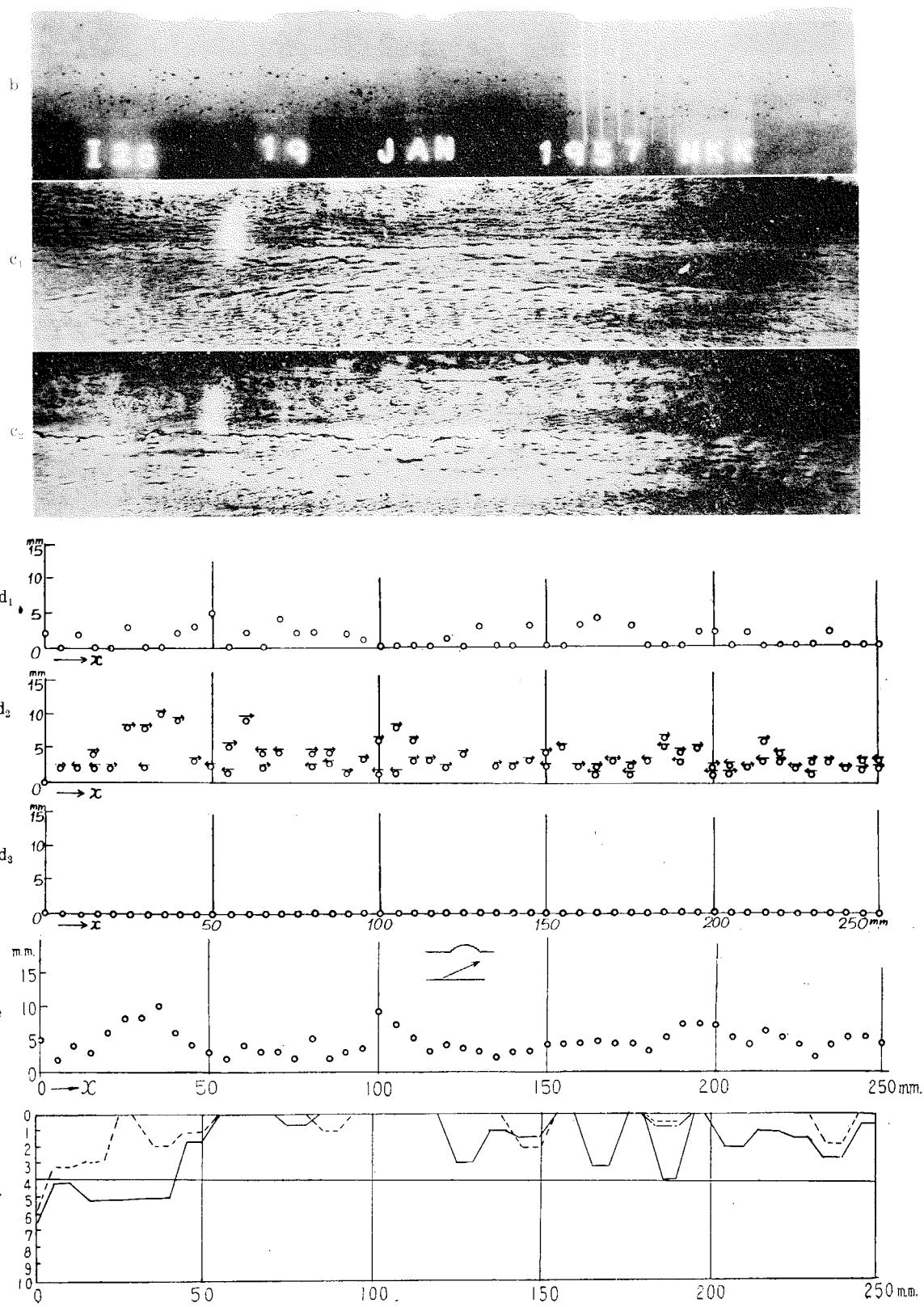
以上5章にわたって述べて来たことを纏め、細かい点を省略して結論を述べれば次の如くなる。

1. X線超音波及び磁粉検査は各々その特徴があつて一つのみで結論を導き難く、一つを以て他に代え難い。
2. 超音波反射とX線とを比較すると大きい欠陥はおおむね一致するが、細部にわたつては必ずしも一致しない。
3. 超音波透過とX線とを比較すると一面に分散した欠陥及び大きい欠陥はおおむね一致する。
4. 磁粉は表面近くの欠陥は非常に誇張されて出るから判り易い。プローホールの如く微細な欠陥の集りは連続した模様になつて個々の欠陥は必ずしも明瞭でない。
5. 試験した範囲の板厚では超音波検査ではビードを仕上げないではほとんど有効な検査を行うことができない。その場合、二探触子法の方が一探触子法より若干優れている。
6. 磁粉検査はビードを仕上げる必要があり、板厚 10 mm 以上の場合は両面より試験する必要がある。
7. ビードのあるままの検査はX線がよい。
8. 大きい欠陥のみを見出したり、予備的な検査としては超音波が便利である。
9. 表面附近の欠陥を見出すには磁粉検査がよい。

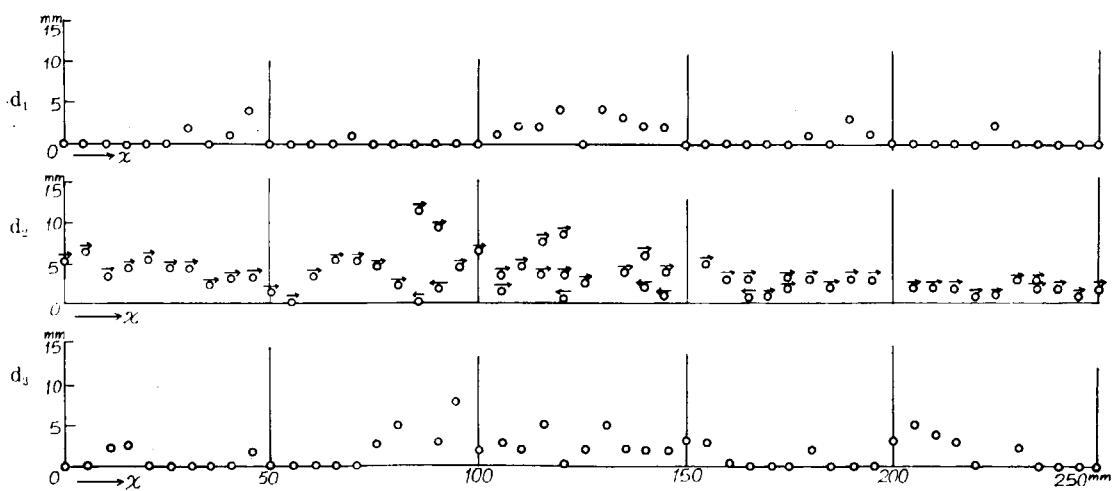
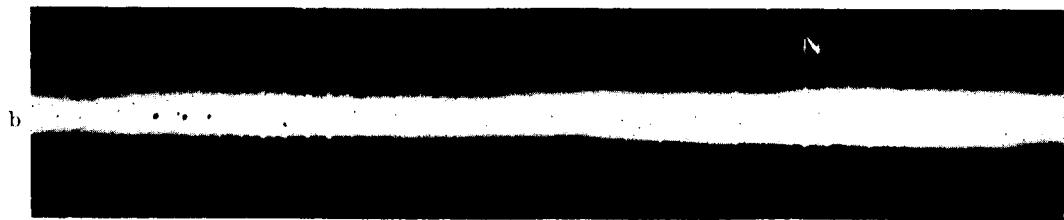
なお今回は測定及び検討の時間が不足しているためすべての測定が終つてはおらず、また測定されたすべての結果について検討が終つていない。更にまた疲労強度を比較して、如何なる欠陥が最も疲労に影響を及ぼすかを調べた時、そのような欠陥をよく検出する装置は何であるかを再検討すべきである。更にまた非破壊検査の各技術は非常な速度で進歩し、昨日不可能であつたことも明日可能になることが多い。従つて上に述べた結論もこれを報告した時の結論であり、少くとも一年経てば書き替えを要する部分が出て来ると考えねばならない。



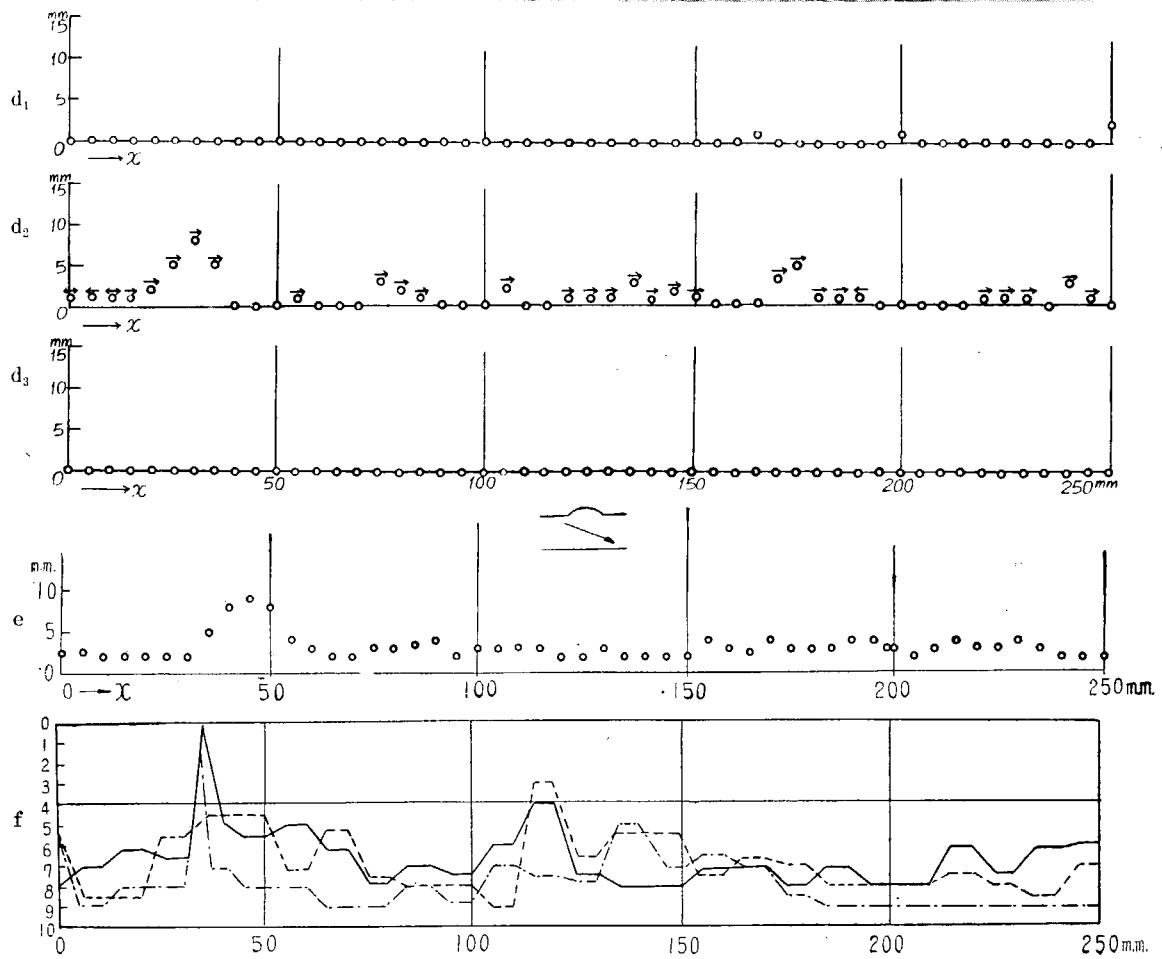
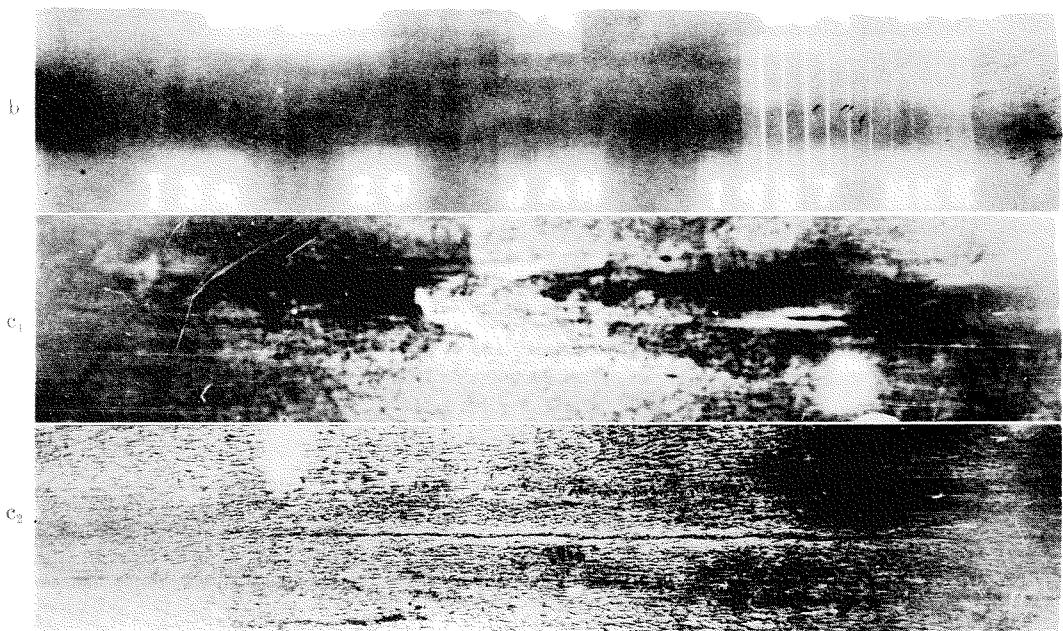
第 5・1 図 No. 202 プローホール、ビード有り



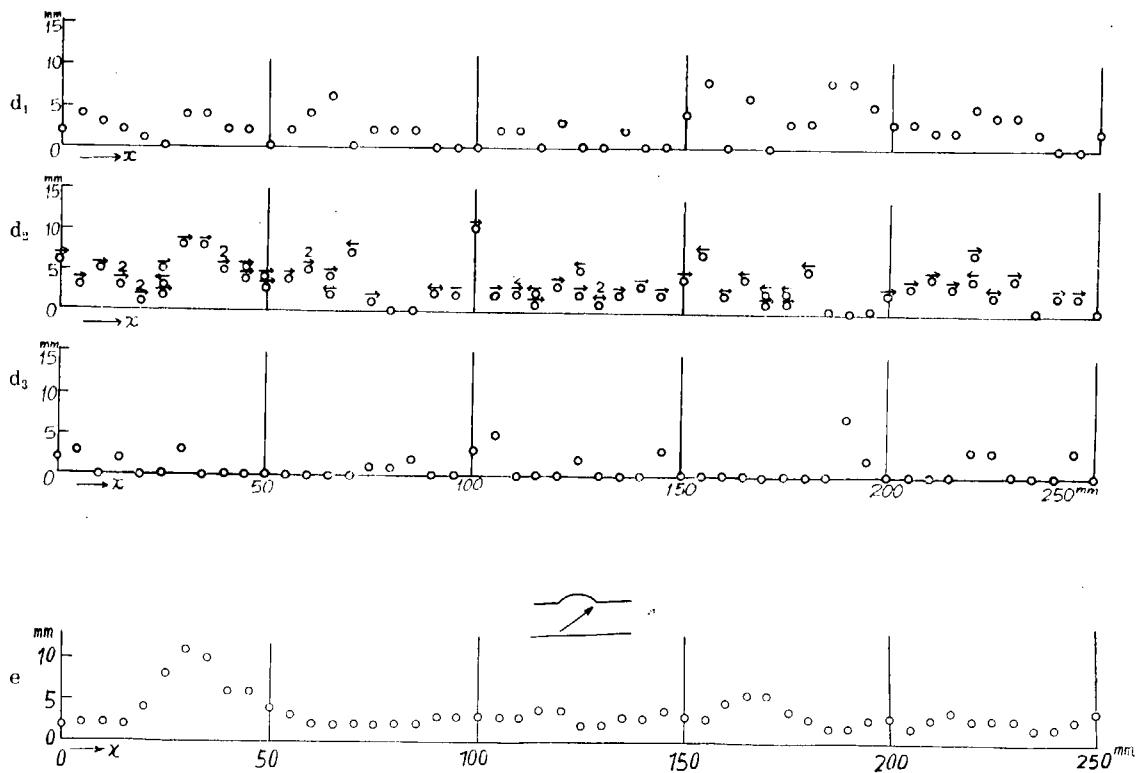
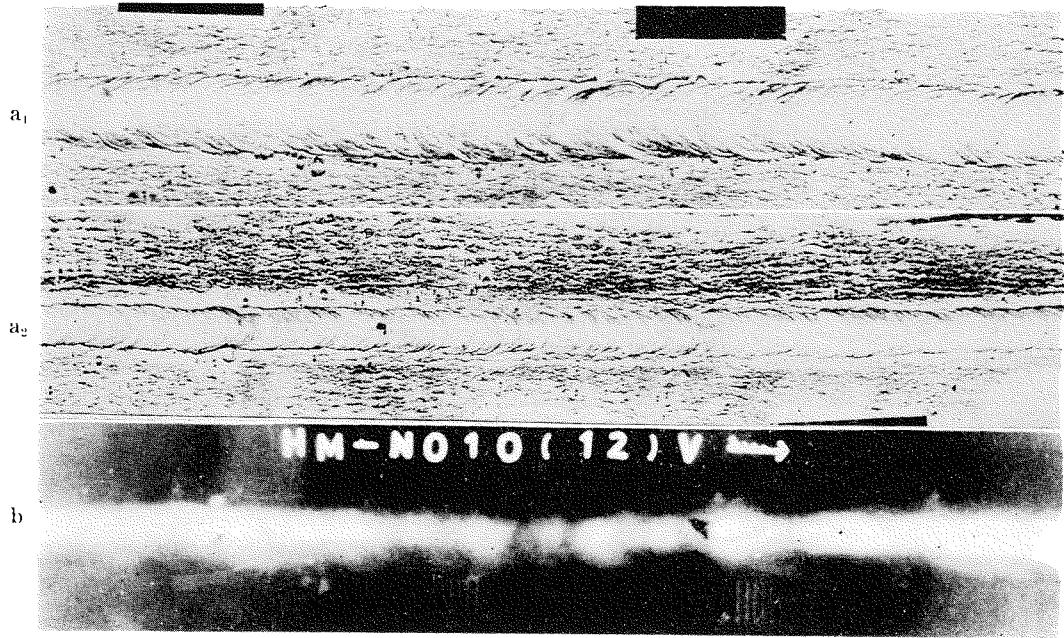
第 5・2 図 No. 202 ブローホール、ビード削正



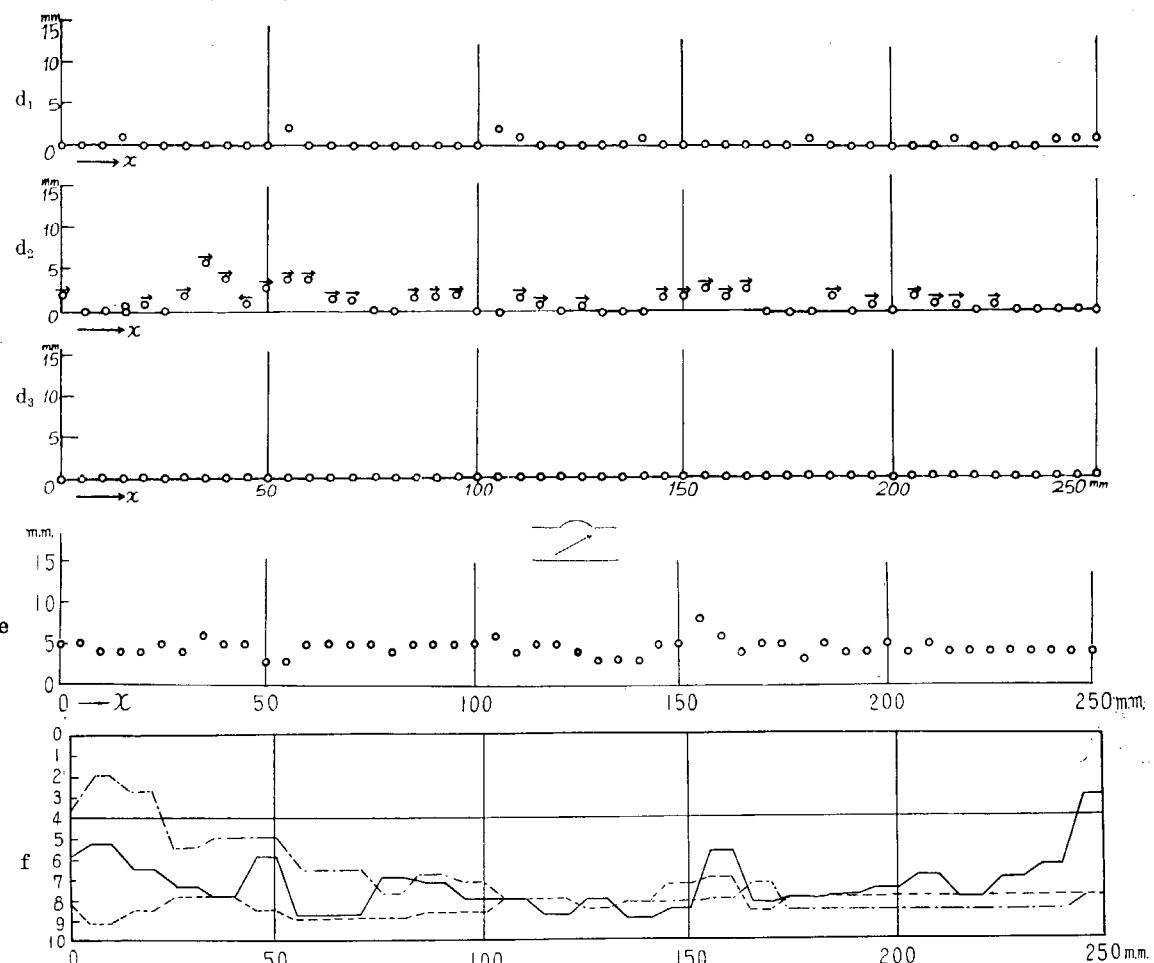
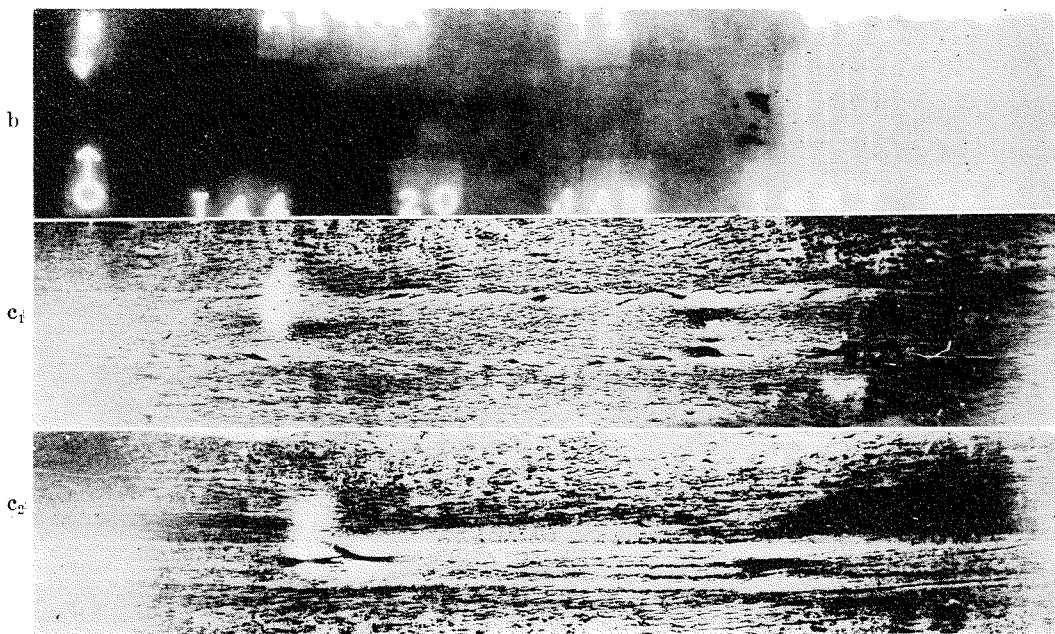
第 5・3 図 No. 212 パイピング、ビード有り



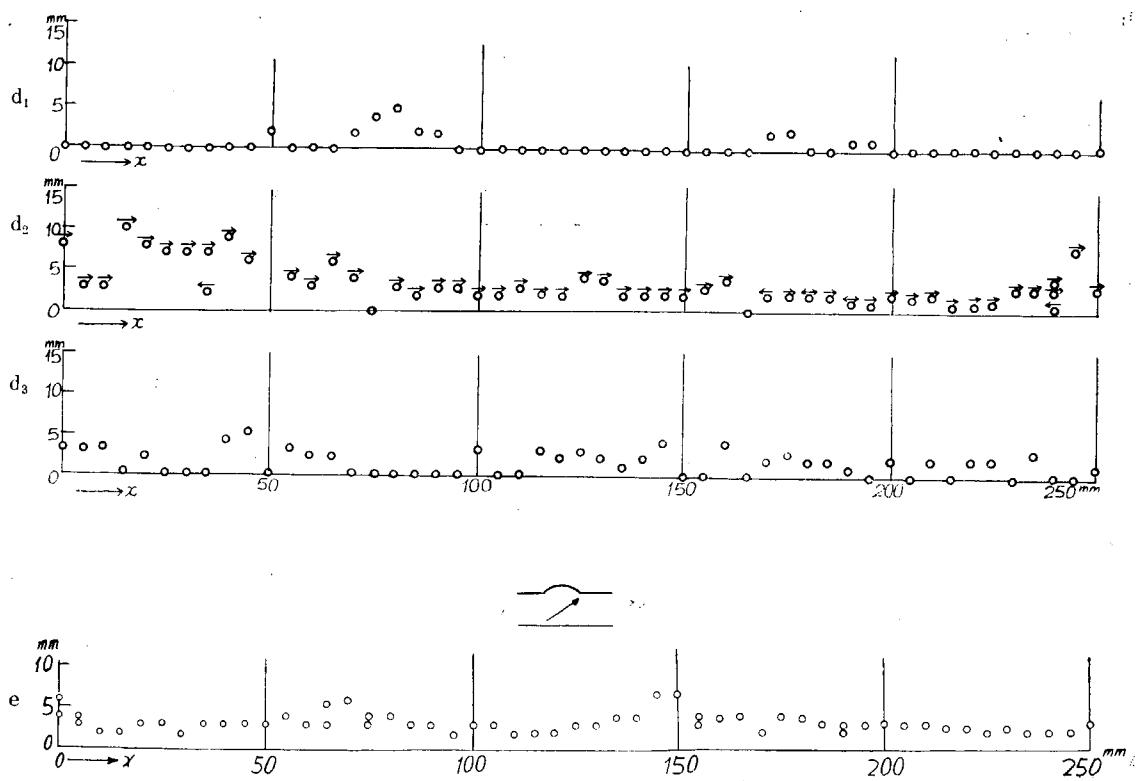
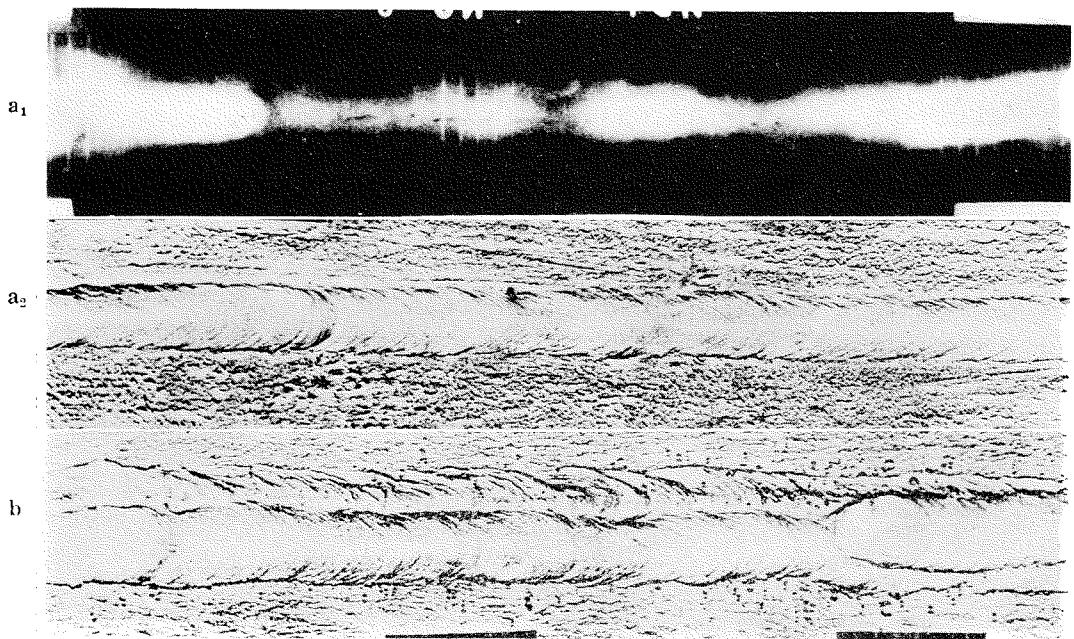
第5・4図 No. 212 パイピング, ピード削正



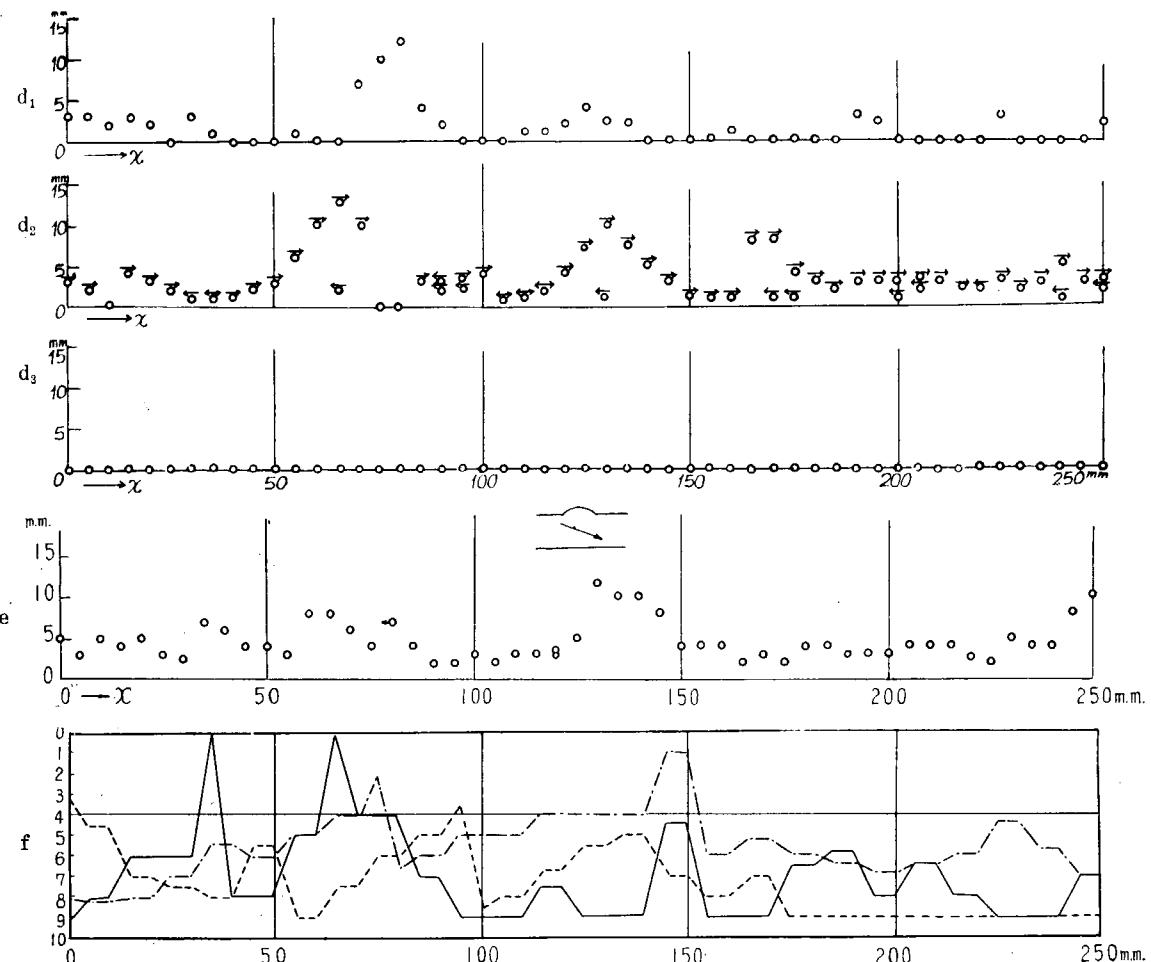
第 5・5 図 No. 24 形状雑多なスラッグ、ビード有り



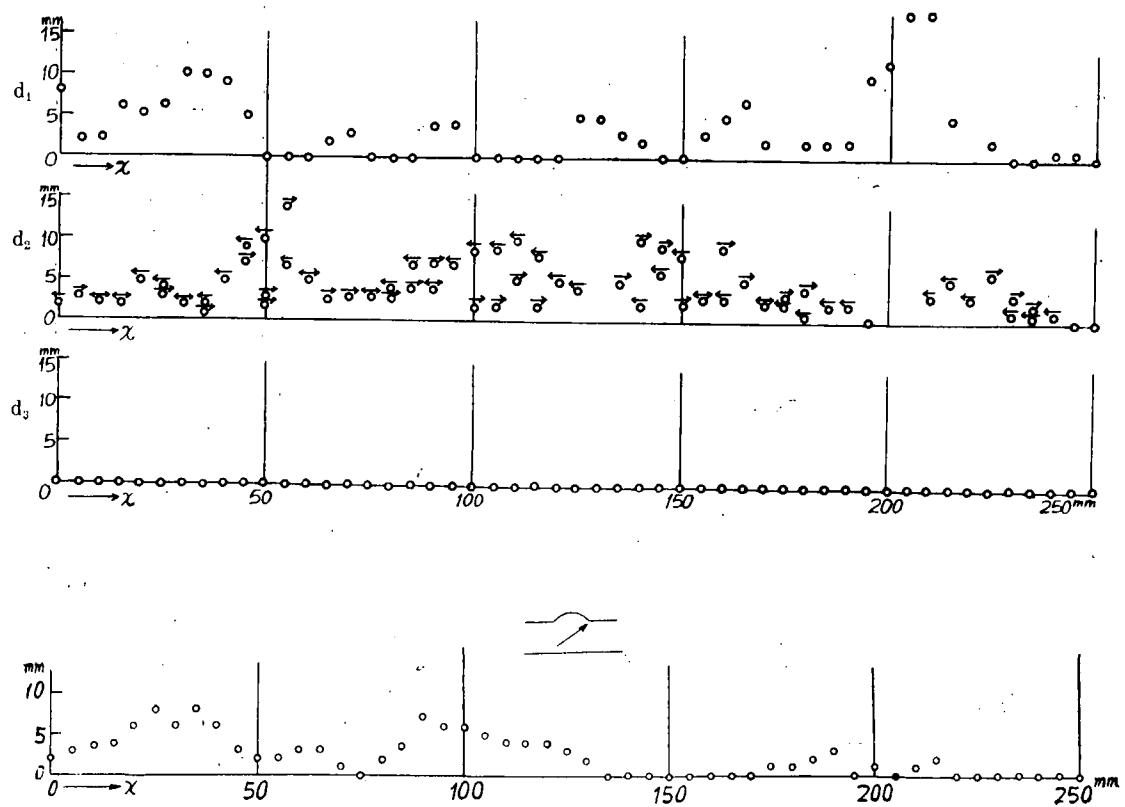
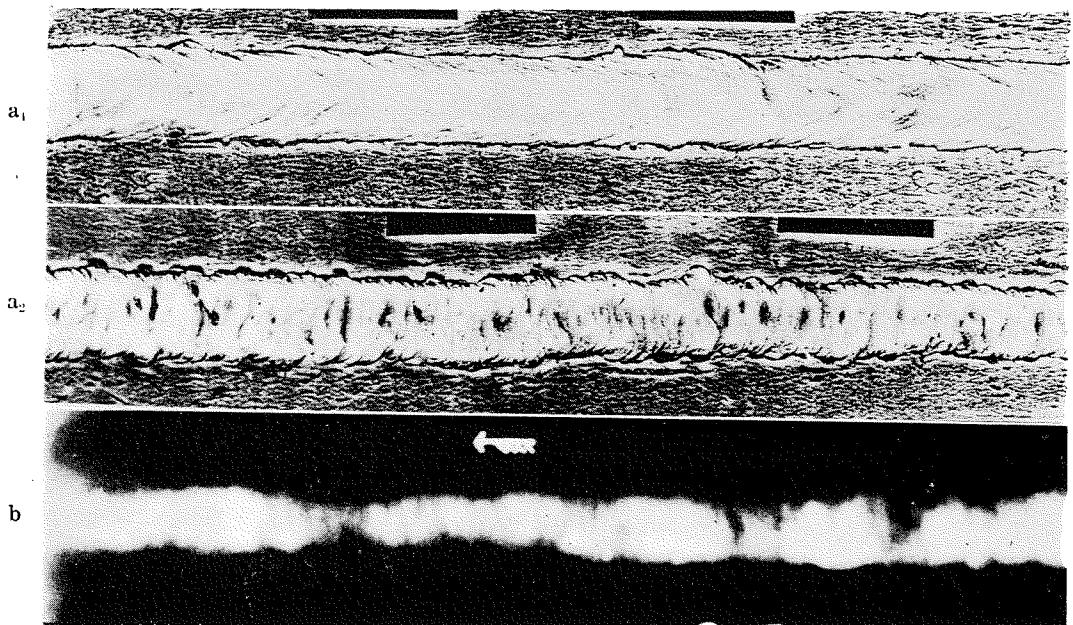
第 5・6 図 No. 24 形状雑多なスラッグ, ビード削正



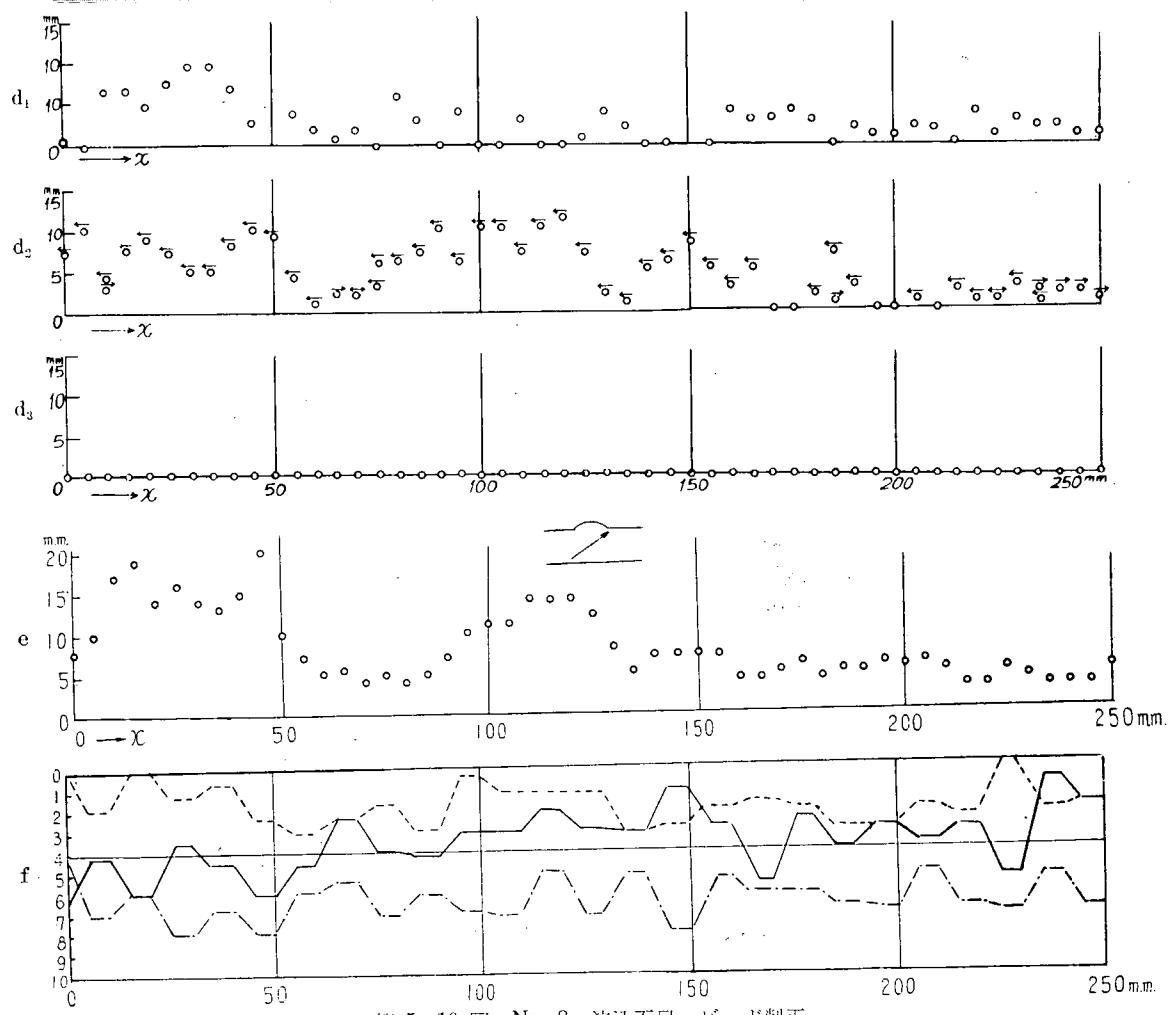
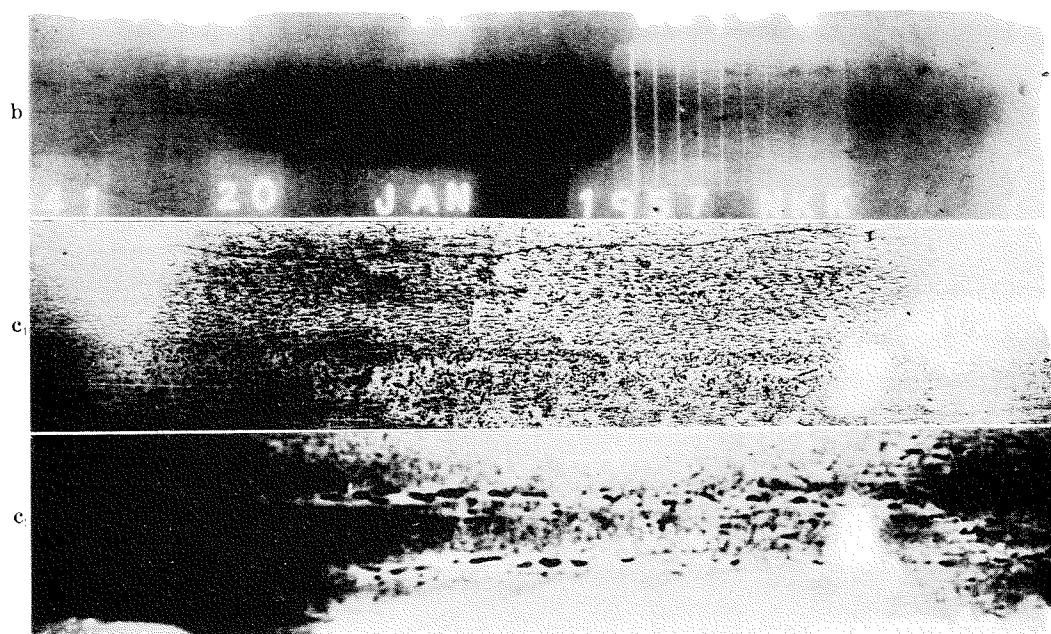
第5・7図 No. 3 融合不良、ビード有り



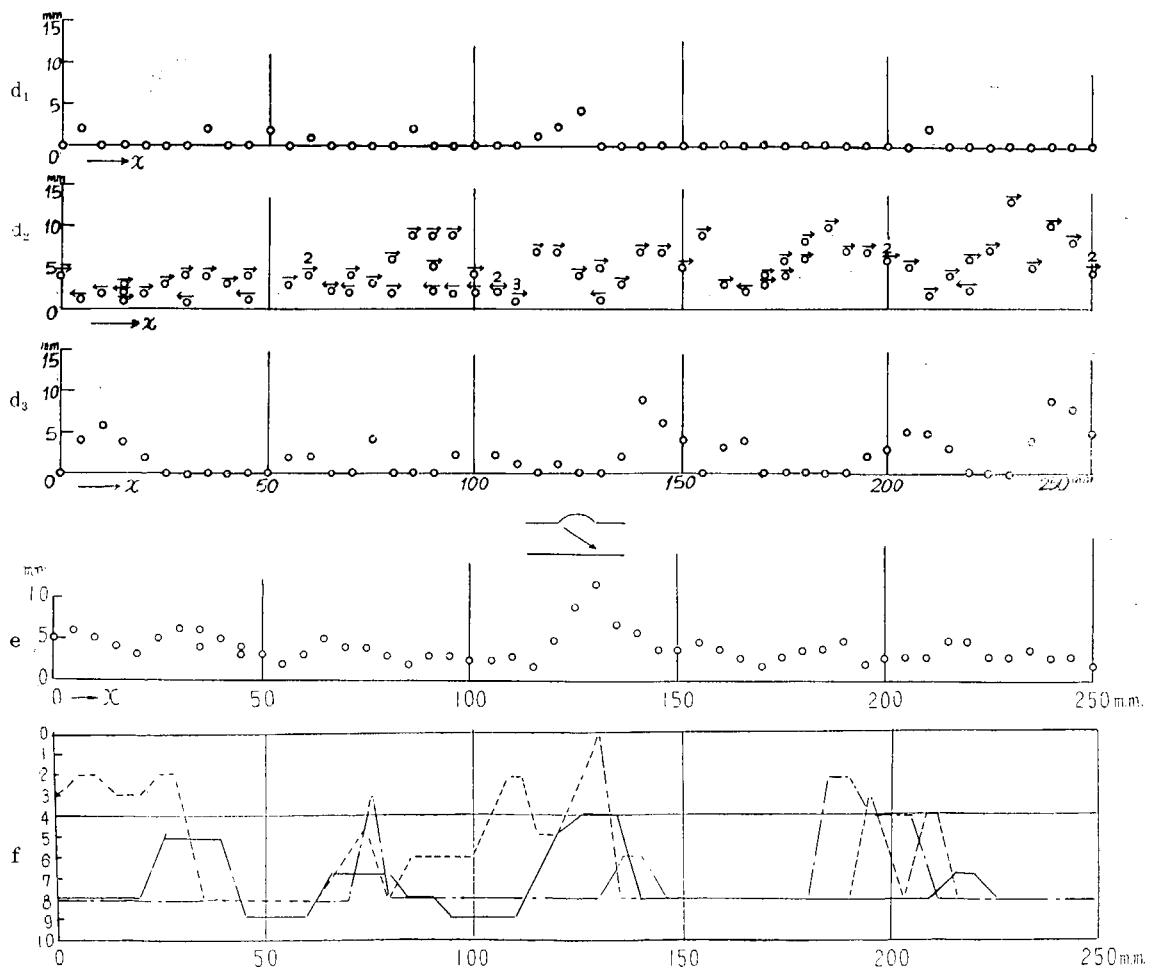
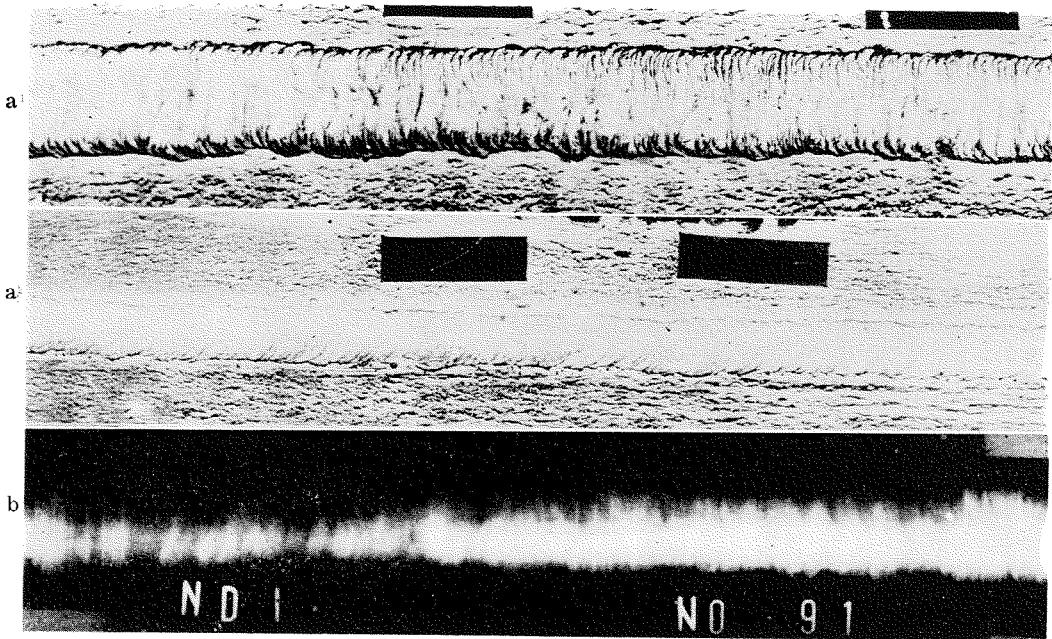
第5・8図 No. 3 融合不良, ビード削正



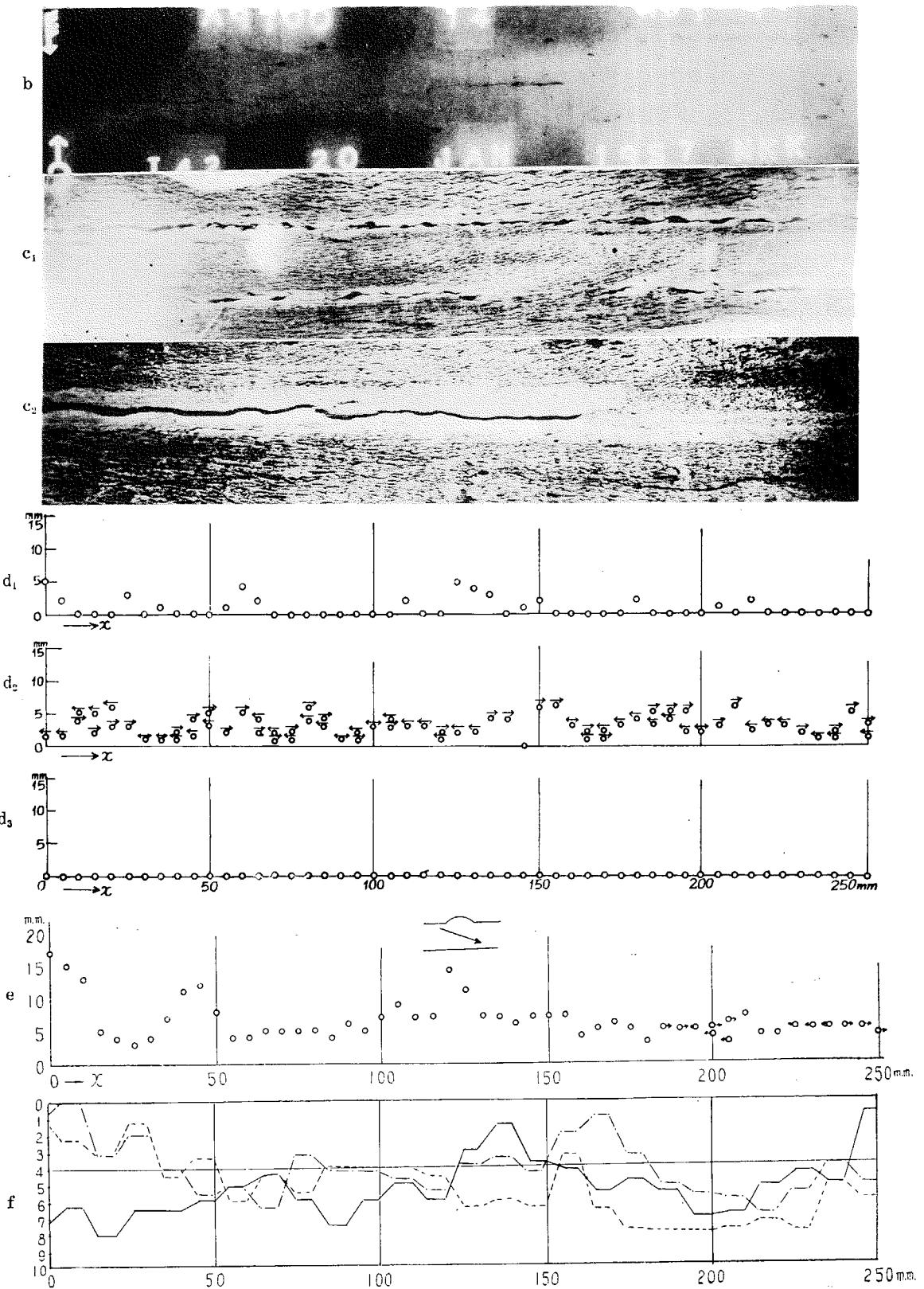
第5・9図 No. 8 滞達不足, ビード有り



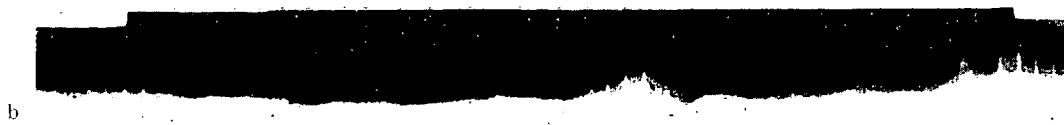
第 5・10 図 No. 8 溶込不足, ピード削正
— 50 —



第 5・11 図 No. 91 縦割れ, ビード有り

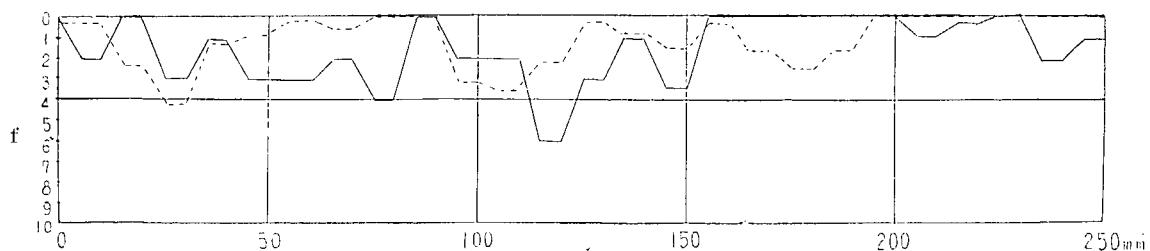
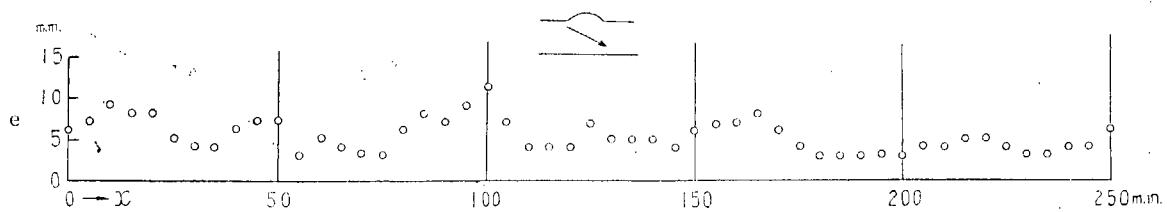
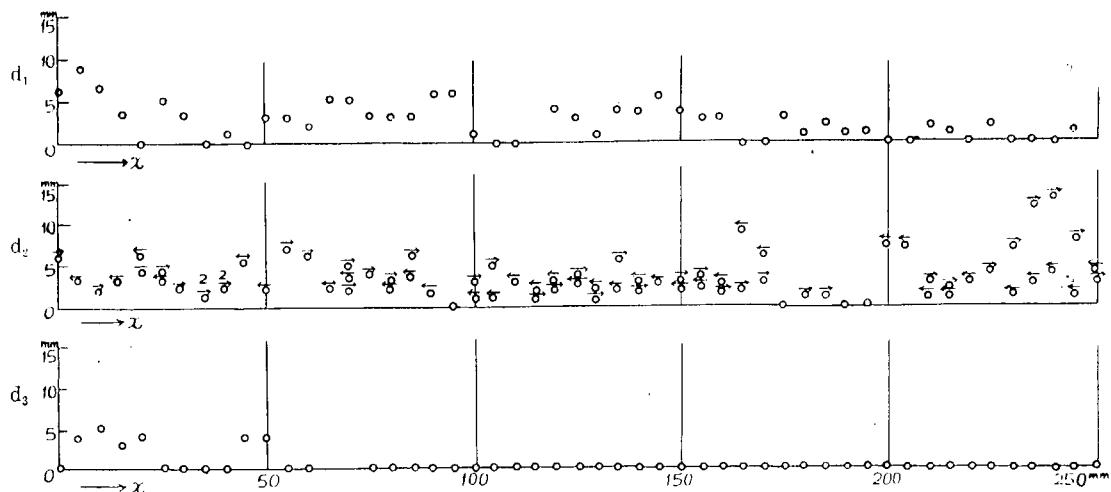


第 5・12 図 No. 91 縦割れ、ビード無し

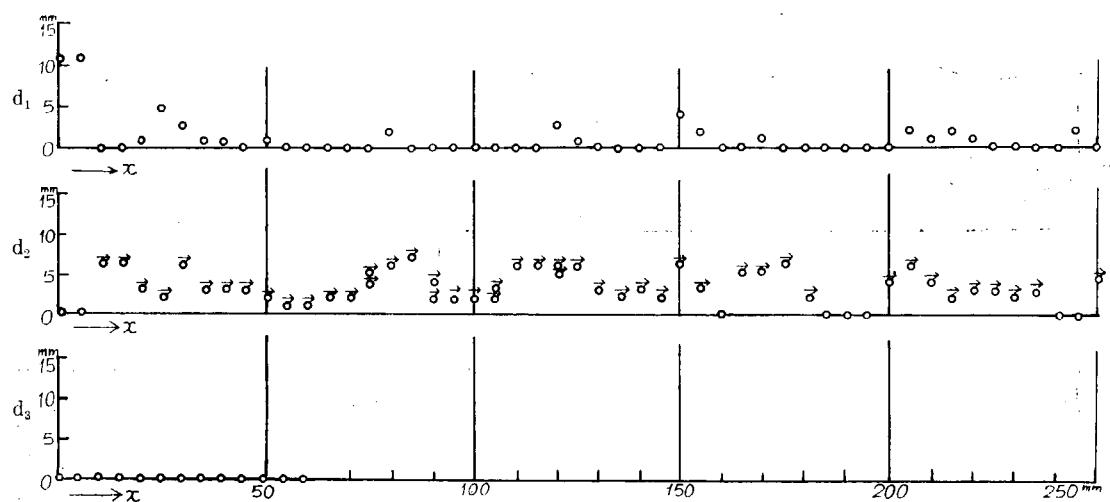
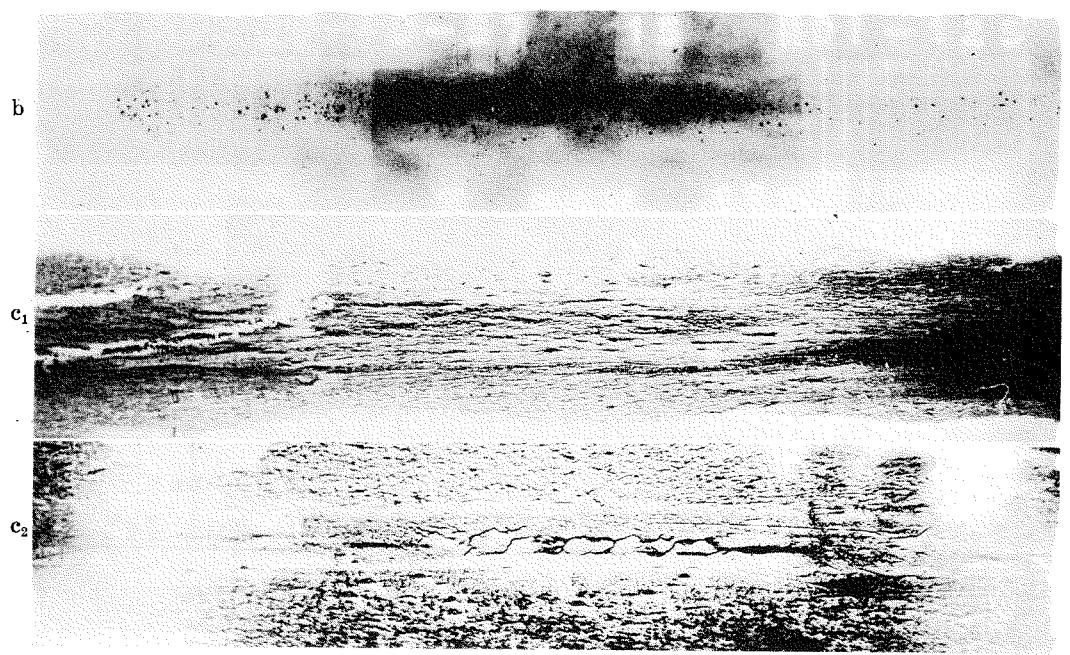


N D I

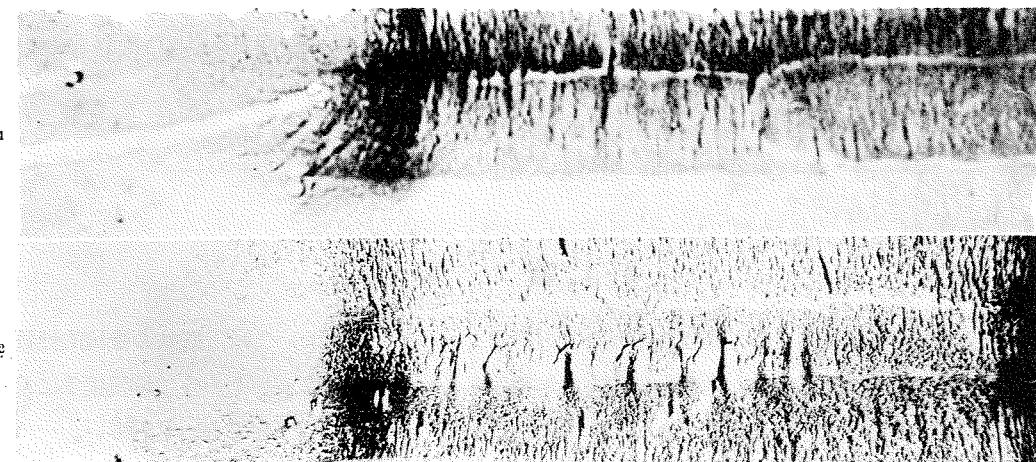
N O · 1 2 5



第 5・13 図 No. 125 横割れ, ピード有り



第 5・14 図 No. 125 横割れ, ビード削正



第 5・15 図 No. 125 横割れ, ピード削正

横割れのため, 磁化方向を 90° 変換したもの

(磁力線はピードに平行)

第2編 欠陥と熔接構造の静的および衝撃強度との関係

第1章 熔接欠陥の人工的作成

1・1 緒 言

工業用構造物が熔接によつて組立てられることが常となつた今日においては、既知の機械的性質を有する素材を以て組立てられた構造物の強度は熔接接頭の強度に依存する。しかるに熔接接頭において全く欠陥の存在しない場合は稀であつて作業の性質上何らかの欠陥が介在することが多い。

材料の一部に欠陥があれば、強度に大きい影響があることは当然であつて、この間の関連性について深い研究が望まれるのである。

現在までに熔接接頭の欠陥と強度の関係について、研究がなされていない誤ではないが、いずれも定性的且つ再現性に乏しいものである上、その欠陥の判定もまちまちであつて割一性がない。従つてこの辺の不備をおぎない、総合判断が可能であるように研究を行わなければならないのである。

ところが実際問題としては、熔接欠陥の場所的任意性、種類、大きさ等の不定、発生の条件的偶然性のために通常の方法を踏襲したのでは徒らに経費と時間がかかるて定量的な再現性のある研究の成功は期し難い。

このため本委員会においては、欠陥と強度の関係を研究する基礎として、人工的に任意の欠陥を作成する研究から着手せんと計画し、31年度においてこの研究計画に従つて実験研究を進めて来たのである。

この目論みは成功を博し、所期の如き成果を収めたのであつて、次下に於てその研究方法と結果を述べて中間報告とするものである。

1・2 熔接欠陥の種類と作成上の必要条件

I.I.W. に於ても我が国通産省工業技術院に於ても、欠陥の種類と等級を規定している。

本委員会に於ても欠陥を定義する必要上、大体その標準に則り、次のように欠陥を分類した。標準の規格案をそのまま採用しなかつた理由は次のようである。即ち、研究せんとする欠陥と強度の関連性は、実際に使用すべき構造物の包藏せる欠陥の強度に及ぼす影響であつて欠陥の全般に亘るものではない。また欠陥作成上便利な分類とするためである。

I. Blow hole

- (a) porosity
- (b) piping

II. Slag inclusions

- (a) slag 点在する。形、方向任意

- (b) slag line
- (c) weaving faults
- (d) bad chipping
- (e) その他

III. Lack of fusion 融合不良

IV. Imcomplete penetration 溶込不足

V. Cracks

VI. Undercutland overlap etc....

〔註〕 不合格と判定されるものは研究の対象としない。

完全熔接は研究の対象でない。

以上の如き分類に従つて欠陥を作成する計画を立てたのであるが、強度的観点からまた作成上の観点から、大まかに

- A. (I) Blow hole
- B. (II) Slag inclusion
- C. (III, IV) poor penetration
- D. Cracks
- E. その他

とした。人工的にこれ等の欠陥を作成する以上、これ等の欠陥は再現性がなくてはならない。また大きさ、密度、場所が任意にできねばならないのである。この要求を整理すれば

- (i) 再現性のあること。
- (ii) 特定の場所に、任意の形状、大きさの欠陥が、任意の密度で作成されねばならぬ。
- (iii) 製作が比較的容易でなくてはならない。(経済的、時間的に)
- (iv) 欠陥を作成したために熔着金属の特性が変化してはならない。また止むを得ぬ時は、はつきりした補正が必要であつて、これが可能でなくてはならぬ。
- (v) 実際の場合に則したものであること。

である。

委員会を開催しこれ等の要求を満し得る方法を討論し、実験研究を行つた結果、次章以下に述べる如く、成功を収めたのである。

1・3 熔接欠陥作成のための予備実験

1・3・1 熔接条件

欠陥を作成するに当つて、先づ普通には避けねばならぬとされている条件について考えたのである。即ち欠陥ができ易いから悪いと判断される事実を挙げると

- (i) 熔接棒の乾燥を行わない。(ブローホール)
- (ii) 開光の清掃が行われない。(スラッグインクルージョン)
- (iii) 熔接条件が不適当である。

(iv) 熔接技術が未熟である。

(v) 棒の型式

(vi) その他

等あつて、これ等を一々検討して最悪の場合を考えて実験を行つた。

この外に、これ等の事柄から派生的に類推される事態を予想しての実験も行つた。

I. まず“熔接棒の乾燥が不充分である”→“乾燥しない”→“水に浸す”と考え、雨中作業等の場合は起り得ることとして、低水素棒を水に浸し、また試験片を水に浸して熔接した。

II. 開先の清掃不充分と云う場合について、開先に異物を入れて熔接することと多層盛熔接の場合に先の熔接残滓を全く除去しないで熔接した。

また酸化皮膜の厚いものがある場合を予想し、塩水に試験片を浸漬し、これを取り出して放置し、錆を生ぜしめそのまま熔接を行つた。

III. 故意に過大電流・過小電流を用い、不適当条件下の熔接を行つた。

IV. 技術の未熟な人々による熔接も行われた。

V. 棒の型式については、裸棒を使用すること、と flux 中の Mn, Si 含量を変えることが考えられた。

VI. ガスを吹付けながら熔接する方法と機械的な方法によつて欠陥を作成することが問題となつた。

如上の検討を実験に移すに當つて、実際の条件に即さぬものとか作成至難のものは再検討の上、除外し、起り得る場合について考えた。

(1) Blow hole

(a) 開先に砂を撒いて熔着する。

(b) ベンガラを撒く。

(c) 試験片及び熔接棒を水に浸して熔接する。

(d) 砂と水を開先に置いて熔接する方法。

(e) グラファイト粉末を撒く。

(f) 錆の影響

(g) O₂ gas を吹付けながら熔接する。

(h) Ar gas を吹付けながら行う。

(i) Compressed air, N₂, CO₂ 等、他の gas を吹付けて行う。

(j) 技術未熟の人々によつて熔接する。

(k) 不適当条件で熔接する。

(l) 棒種をかえて行う。

(m) 有機物を開先に入れる。

(n) 機械的な方法。

(2) Slag inclusion

(a) 開先を清掃しない。つまり熔接残滓を残したまま熔接する。

(b) 多層盛の場合、第何層目かに孔を開け異物を填充してその上を仮付けし以下の層を熔着す

る。

(c) 開先の形状とか熔接方法による。

(3) poor penetration

(a) 機械的な方法

(b) 熔着法による方法

の如くである。

甚しい外観上の欠陥（非破壊検査以前に不合格となるもの）とか、crack の如き不合格のものについては今は触れないことにする。

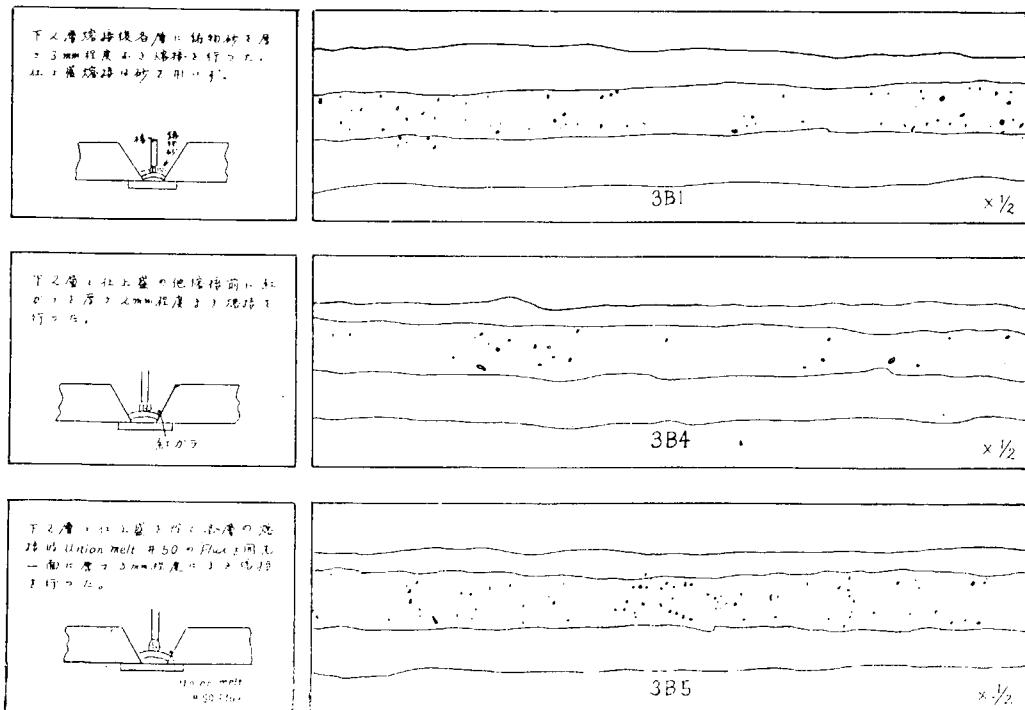
次に、この各条件について実験が行われたのであつて、その方法と結果をのべることにする。

1・3・2 予備実験とその結果

(1) Blow hole の作成

1) Blow hole の作成の項目中 (a), (b), (e), (m) の各項目は熔着金属中に於て、これ等の物質が溶解または蒸発して凝固後に blow hole を残すのではないかと考えて実験したものであつてその結果の中の代表的な例を第 1・1 図に示す。この図は見易くするために X 線フィルムを模写し、それを $1/2$ に縮尺したもので以下全部これに倣つた。それらの熔接条件は以下のものも含めて第 1・1 表に示す。これによれば多少の差はあるが Blow hole が発生した。

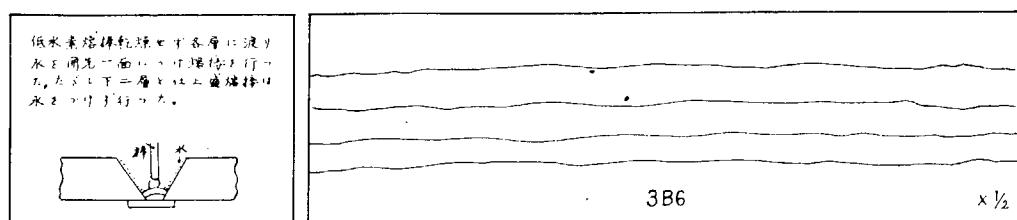
(e) は雨中作業時に起り得る場合であるし、熔接棒は乾燥して行うものであるため、このような時の最悪の場合の想定による。この際も僅か Blow hole が発生した。



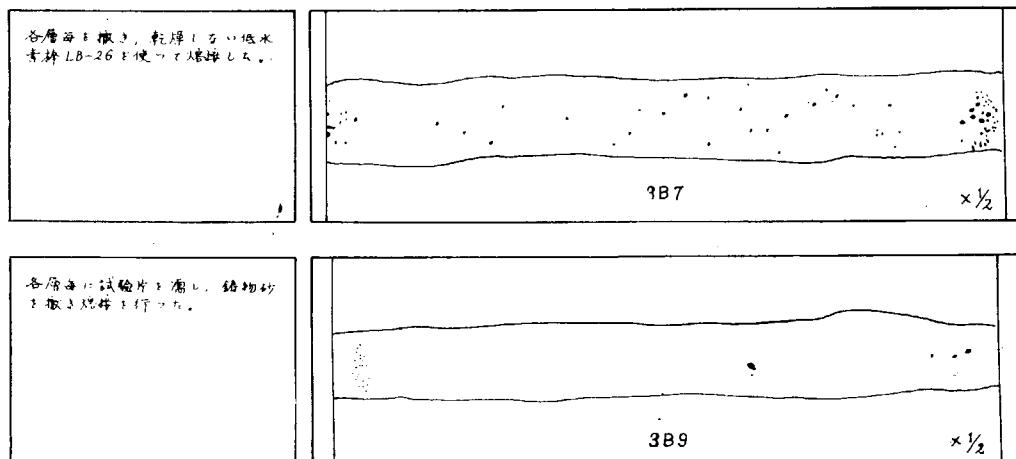
第 1・1 図

第1・1表

試料記号	溶接種類	姿勢	溶接棒	開先	ルート (mm)	電流 Amp	溶接条件		パッキング	層数
							表面状態	裏面グラインド 表面そのまま		
3B1	V衝合	下向	G-200, 5φ	60°	6	150	裏面グラインド 表面そのまま	有, 熔接後除く	5	
3B4	"	"	"	"	"	150~170	"	"	"	
3B5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
3B6	"	"	LB-26, 5φ	"	"	190~220	"	"	"	
3B7	"	"	"	"	"	240	"	"	7	
3B9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
3B11	"	"	B-17, 5φ	"	"	230	"	"	"	
3B13	"	"	TB-24, 5φ	"	"	235	"	"	"	
3B18	"	"	HC-24, 5φ	"	"	190	"	"	"	
3B19	"	"	A-100, 5φ	"	"	190~210	"	"	8	
3C3	"	"	LB-26, 5φ	"	"	250	"	"	7	
3C6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
3C8	"	"	LB-55, 5φ	"	"	190~220	"	"	8	
4Ba2	"	"	LB-26, 5φ	"	"	190~230	"	"	7	
4Ba3	"	"	B-17, 5φ	"	"	190~210	"	"	"	
4Ba6	"	"	LB-55, 5φ	"	"	190~220	"	"	"	



第1・2図



第1・3図

この実験結果の例を第 1・2 図に示す。

(d) は (a) と (c) の影響が重畠すれば欠陥のでき方は甚しいと考えられたためである。この 1 例を第 1・3 図に示す。これによれば各層毎に試験片を繕らし砂を撒いただけでは Blow hole は発生しなかつたが乾燥しない低水素棒では発生している。

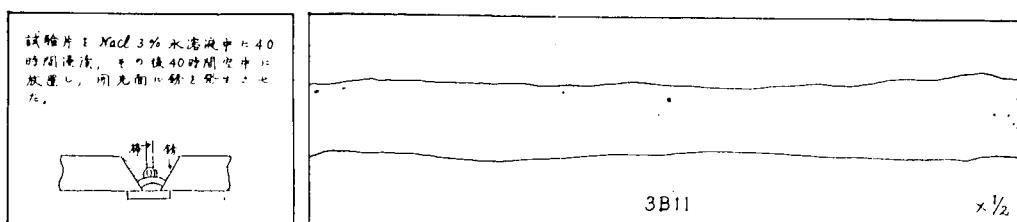
(f) も屢々起り得る Case と考えられる。(第 1・4 図)

この際には Blow hole の発生は僅か熔接の始端と終点に出たものがあつたに過ぎない。

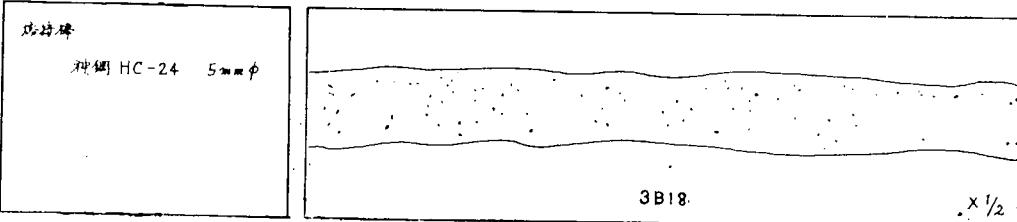
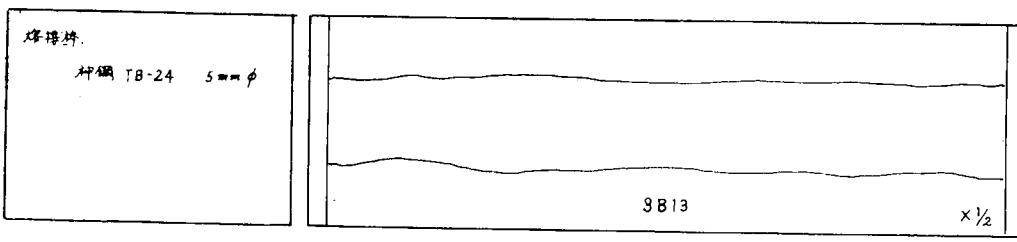
(g), (h), (i) は熔着金属に及ぼすガスの影響と、分子状ガス気泡の内圧と亀裂の関係などの想定より実験したもので、その方法によつて欠陥を作ることに成功した。これについては後に述べる。

(j), (k) は実験の結果、良好な実験でないことが明かとなつたので考えないことにした。

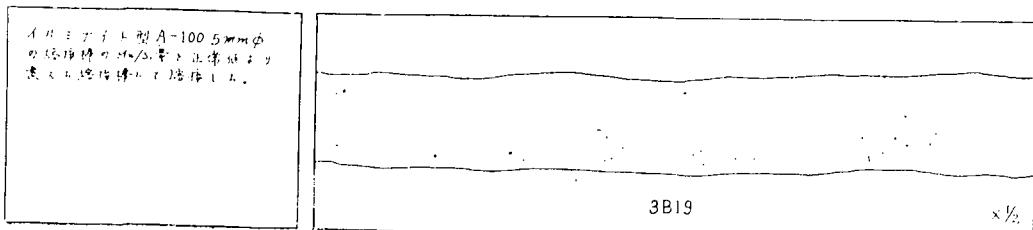
(l) 各種の型の熔接棒による実験も行われた。(第 1・5 図)



第 1・4 図



第 1・5 図



第 1・6 図

この結果 TB-24 にスラッグ、 HC-24 に Blow hole が現れたが B-17, TB-62 は無欠陥 LB-26, B-30 は始端および終端に僅か欠陥があらわれていた。

(L) flux 中の Si, Mn 量を変えた熔接棒による熔接も行われた。その結果の 1 例を第 1・6 図に示す。

これは自然発生の blow hole と同じものであるので人工的のものとの比較をするためである。

(m) 有機物として oil' を開先面に塗布して熔接した、この方法は成功しなかつた。

(n) 最も適当な方法であることが判明した。今後実験遂行の中心となる方法であると考えられるので詳細に次章にのべることにする。

(2) Slag inclusion

(a) 普通の方法で、ただ前層熔着時の熔接残滓を残して熔接したのみでは余り欠陥はできなかつた。(c) の熔接方法を按配する方法の combination として成功した。

(b) は余り適当でないようであつたので実施しなかつた。

(c) 種々の実験の結果成功した。(第 1・21 図)

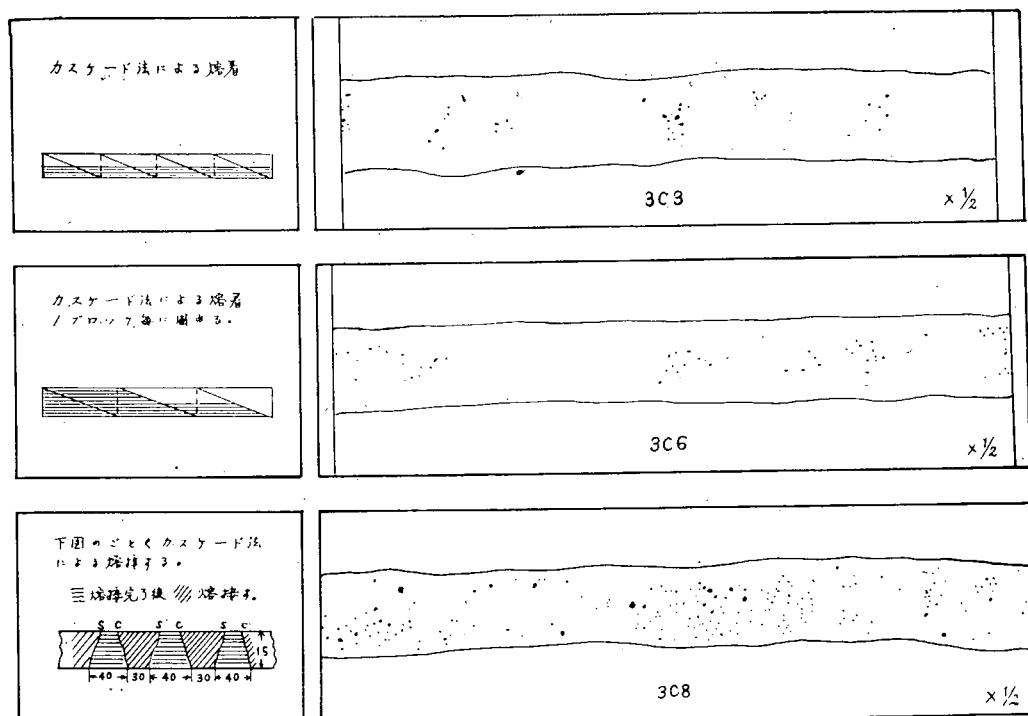
(3) poor penetration

(a) 機械的な方法は、(1) の (n) と同様の類推から行つて成功した。(第 1・24 図)

第 1・7 図

(b) 開先の形状を変えて第 1・7 図のように h をかえて行う。

(4) この外にスター、クレーター部に欠陥が生じ勝ちであると云う事実に鑑み、ビードの上



第 1・8 図

から下まで等しい密度で欠陥が分布するような試片が得られないかと考えて、カスケードタイプの熔接を行つた。

この結果は Blow hole が多くできたその 1 例を第 1・8 図に示す。

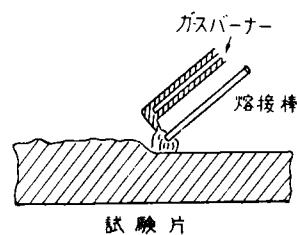
1・4 熔接欠陥の作成

1・4・1 Blow hole 欠陥の作成法

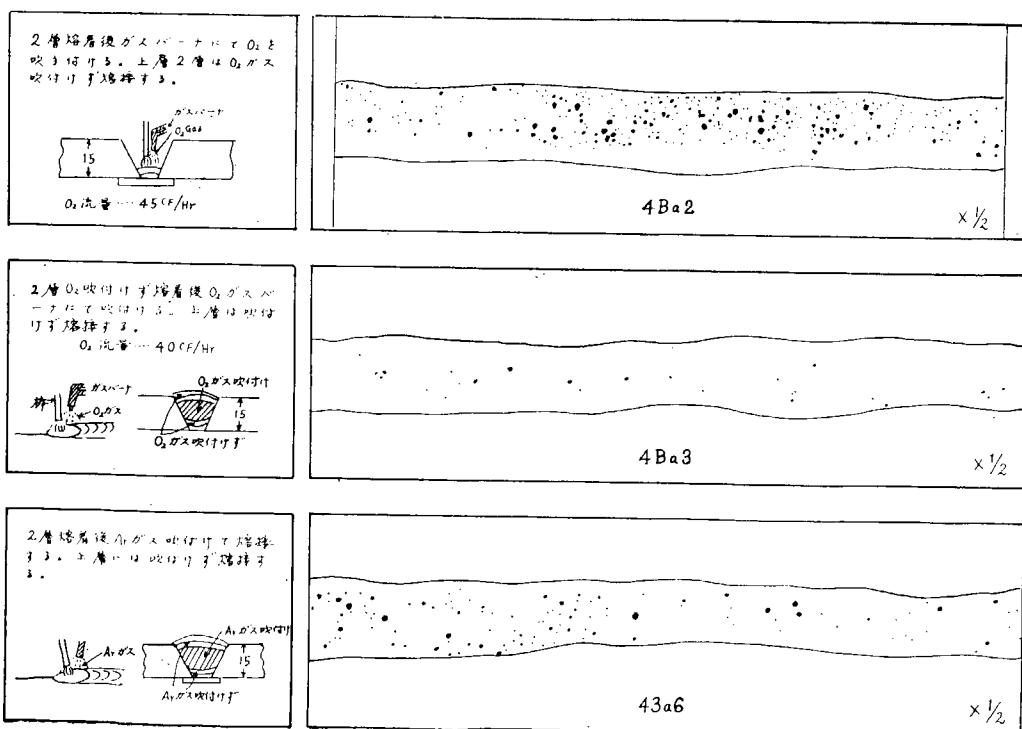
前節 1・3 の予備実験の結果より判断して、欠陥作成上の必要条件をすべて満足するものとしてガス吹付け法と機械的方法の 2 つがある。

(1) ガス吹付け法

この方法の特徴は Blow hole が自然であつて、機械的方法のように Blow hole の形状についての心配はないことである。しかし位置の指定と密度の調整が困難であることと、ガスを吹付けたために熔着金属の特性が変わらないかといふ心配がある。従つてこの方法を応用できる場合は、大型の試験片について現行 JIS 判定規格の 4 級、5 級に相当するような多数の欠陥を作成する場合に最も適している。各層毎に行えば均等に分布した欠陥も再現できる。この場合の欠陥の密度はガス圧力、流量を調整して X 線写真をとつて予備試験を行い、所要の条件を採用すればよい。方法は第 1・9 図の如くである。



第 1・9 図

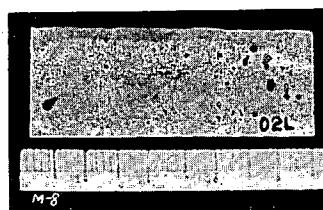


第 1・10 図

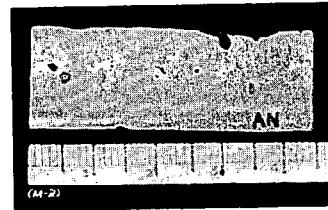
現在までに実験に用いられたガスは Ar と O₂ である。その結果流量を大にすれば Blow hole の数も多くなつた。その1例を第1・10図に示す。

また試験片断面の写真を第1・11～1・12図に示す。

ガス吹付け法によるときはガスの影響によつて熔着金属の特性が変化しないかどうかという問題が起きて来る。そこでガス吹付け法によつて欠陥を作成した場合は、その熔着金属自体の特性を吟味し



第1・11図 O₂ gas 吹付け



第1・12図 Ar gas 吹付け

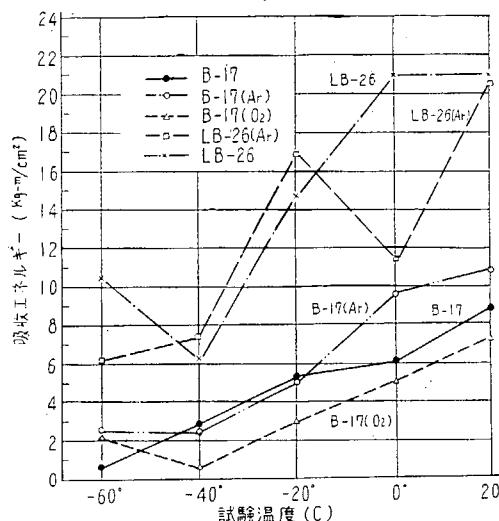
第1・2表 欠陥作製に用いたガスが熔金に及ぼす影響

試験温度と衝撃吸収エネルギー

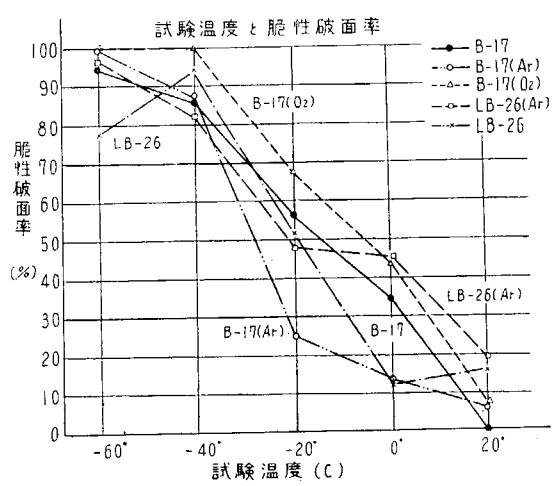
試験片 No.	試験棒種	温度 °C									
		-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B-17 (B7)	0.8	0.6	2.4	3.2	6.2	4.5	7.0	5.3	12.6	7.0	—
LB-26 (LB)	10.5	10.5	6.8	5.6	16.7	12.9	20.5	21.9	22.2	19.8	—
B-17, Ar (AB)	2.7	2.4	2.9	2.2	3.6	6.8	9.6	10.2	11.2	10.2	—
B-17, O ₂ (OB)	2.2	2.0	0.8	0.6	3.4	2.7	5.6	5.1	9.6	5.3	—
LB-26, Ar (ALB)	6.2	6.2	6.5	8.3	14.3	19.5	9.3	13.3	21.6	20.6	—

(註) Vノッチ衝撃試験片(シャルピー), 浸漬時間 30 分間

試験温度と衝撃吸収エネルギー



第1・13図



第1・14図

第1・3表 欠陥作製に用いたガスが熔金に及ぼす影響

試験温度と脆性破面率 Test No.	試験温度と脆性破面率										
	-60		-40		-20		0		+20		偏行
温度 (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
B-17	73	78	68	70	52	38	24	32	0	0	脆性破面積 (%)
	91.0	97.5	85.0	87.5	65.0	47.5	30.0	40.0	0	0	" (26)
	94.5		86.5		56.5		35.0		0		" 平均 (%)
B-17 (Ar)	80	80	65	75	55	28	12	9	2	8	"
	100	100	81.0	94.0	69.0	35.0	15.0	11.0	1.6	10.0	"
	100		87.0		25.0		13.0		5.8		"
B-17- (O ₂)	80	80	80	80	44	56	31	40	7	3.7	"
	100	100	100	100	55.0	81.0	39.0	50.0	8.7	4.6	"
	100		100		68		44		6.6		"
LB-26	60	65	75	76	35	50	15	10	12	14	"
	75.0	81.0	94.0	95.0	44.0	62.5	17.8	12.5	15.0	17.5	"
	78.0		94.5		53.2		12.5		16.2		"
LB-26 (Ar)	80	75	63	68	43	35	40	32	14	15	"
	100	94.0	79.0	85.0	54.0	43.0	50.0	40.0	17.5	18.8	"
	97		82		48.5		45.0		18.1		"

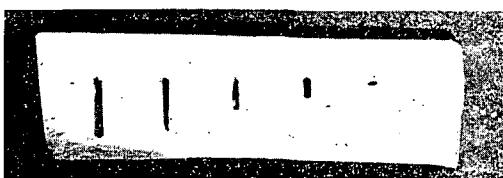
なければならぬので、ガス吹付けによつて欠陥を作成した熔接接頭について、X線透過検査を行い、欠陥のない場所を選んでシャルピー標準試験片を切り出して衝撃試験を行つた。その結果を第1・2表、第1・13図、第1・3表、第1・14図に示す如くガス吹付け法により作成された欠陥と機械的性質との関連性は明瞭な差は認められない。またこの方法による欠陥の作成の再現性はむつかしい。また試験片の切り出し方は第1・15図の如くである。

(2) 機械的方法

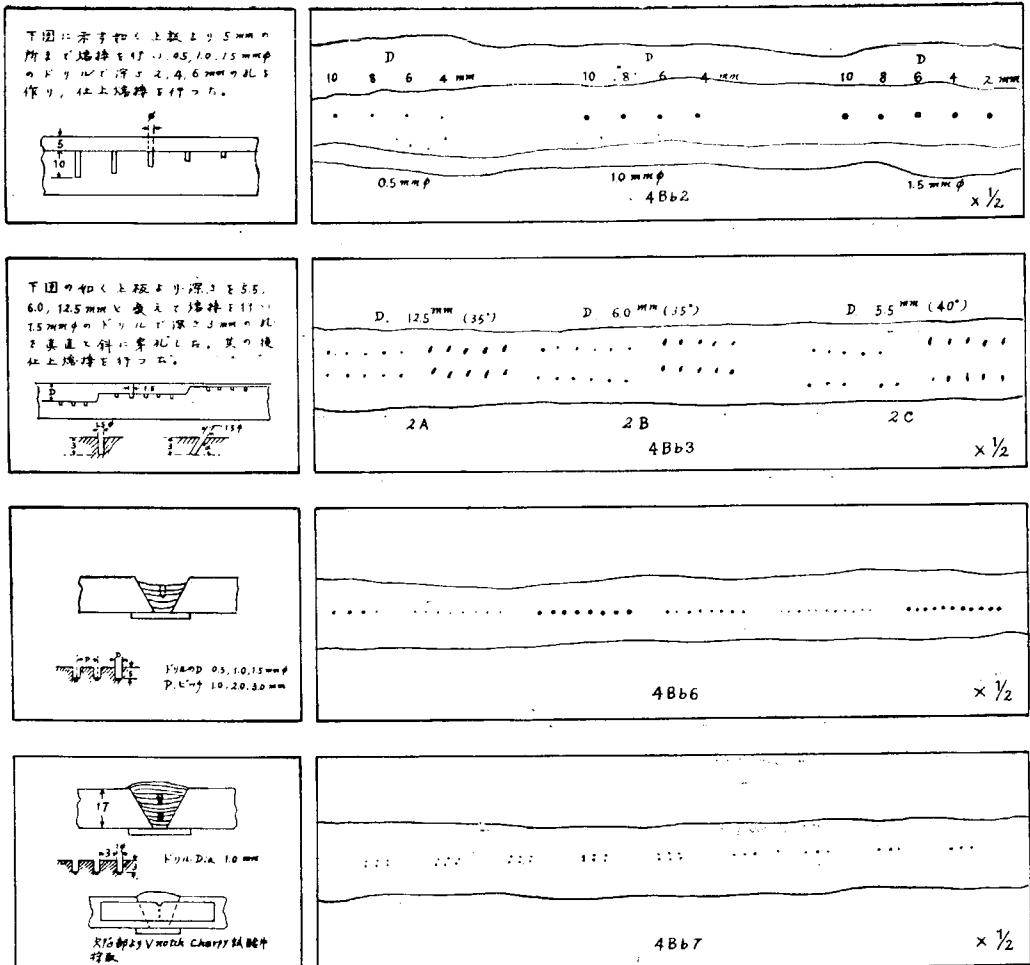
極めて厳密に欠陥の位置、大きさ及び密度が指定し得る方法であつて今後この方法を主体として実験研究を行う予定である。その方法は第1・16図に示す通りである。即ち第2～第3層上にドリルで孔を開けてから次の層を熔着するのであつて、ドリルの径と穿孔の深さを変えると任意の大きさの



第1・16図



第1・17図



第 1・18 図

Blow hole の標本ができる。熔接接頭の X 線透過写真で屢々現れるような Blow hole は、1~1.5 mm の径のドリルを用い 1~3 mm の深さに穿孔すれば適當と思われる。このために作成した試験片の X 線透過写真と欠陥部切断面の写真を示すと次の第 1・17 図の如くである。

なお第 1・18 図の X 線透過写真は、後に機械試験のための試験片を作成する場合の準備として、ドリル径とピッチをかえて作成した欠陥の比較である。その熔接条件は以下のも含めて第 1・4 表に示す。

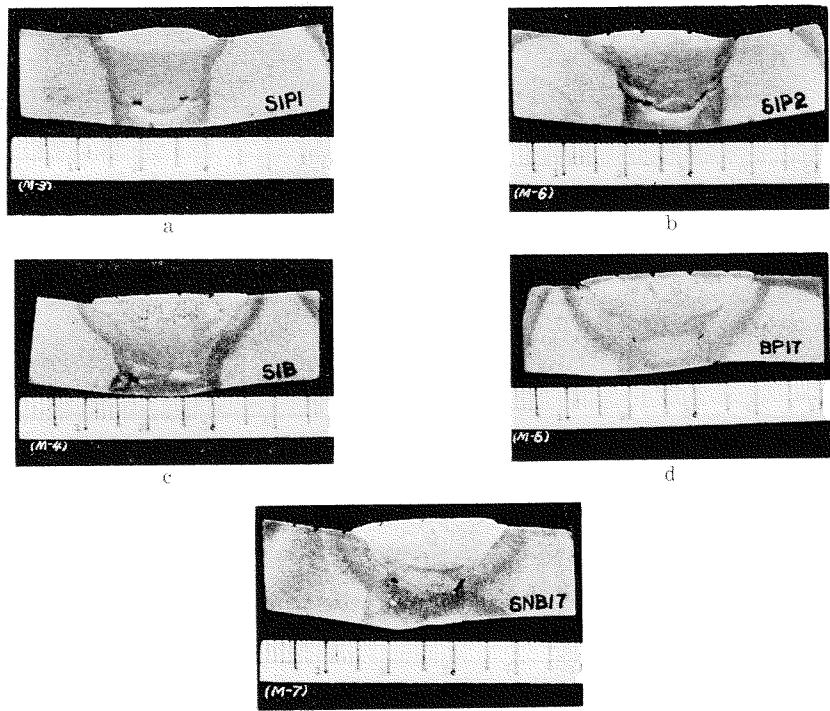
第 1・4 表

試料記号	熔接条件							
	熔接種類	姿勢	熔接棒	開光	ルート (mm)	電流 Amp	表面状態	バッキング 層数
4Bb2	V衝合	下向	G-200, 5φ	60°	6	150~170	裏面グラインド 表面そのまま	有, 熔接後除く 7
4Bb3	"	"	B-17, 5φ	"	"	"	"	" 5
4Bb6	"	"	"	"	"	190~220	"	" 11
4Bb7	"	"	"	"	"	"	"	" 11
4S2	"	"	"	"	"	190~210	"	" 5
4P1	"	"	"	"	"	130	"	" 7

(2) Slag inclusion

はじめに、熔接残滓を残して後の層を熔着すればできるとのみ考えて種々と試みたが成功しなかつた。

数次の実験の後に次の如き方法で巧みに Slag inclusion ができることが明かとなり、この方法を繰返したが極めて再現性よく、これ等の一連の写真を第 1・19 図に示す。



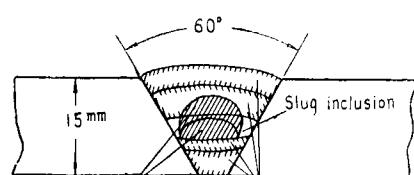
第 1・19 図

作成方法は第 1・20 図の如くである。

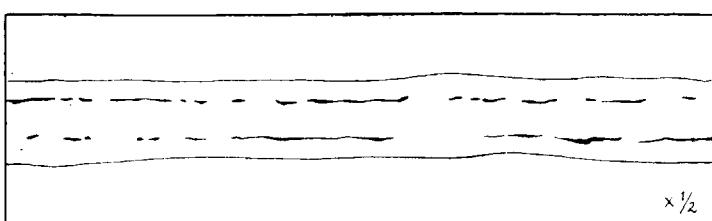
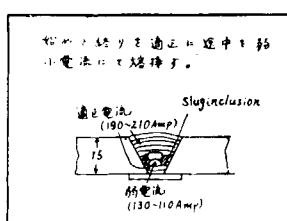
即ち、始め 2 層位を熔着した後、弱い電流で 1 ~ 2 層を熔着し、そのままでその上に 4 ~ 7 層目を熔着する。かくて作成された試料の X 線透過写真の 1 例を第 1・21 図に示し熔接条件は第 1・4 表に示す。

(3) poor penetration

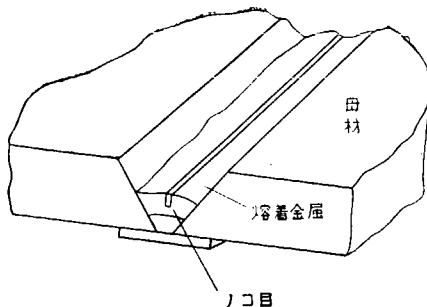
Blow hole 作成の時の、ドリル穿孔法よりの類推で、第



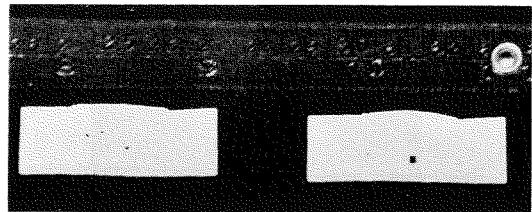
第 1・20 図



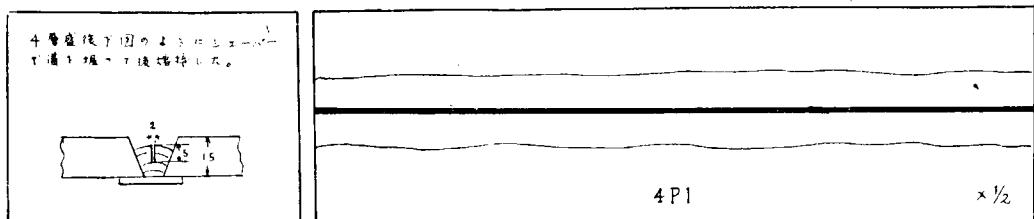
第 1・21 図



第 1・22 図



第 1・23 図



第 1・24 図

2～第3層まで熔着した熔着金属に第1・22図のようにノコ目を入れてから後第4～第7層を熔着する。この方法によつて、溶込み不良の欠陥標本の作成は成功した。

この場合の試験片断面を第1・23図に、またそのX線透過写真の1例第1・24図に示す。

第2章 熔接欠陥の機械的強度におよぼす影響（予備実験）

2・1 緒 言

以上の如くして熔接欠陥が充分なる再現性を以て、定量的に、しかも任意に作成し得ることが明かとなつたので、これを機械試験に移し、強度との関連性を求めねばならない。このため試験方案を作成して試験を行うことになった。

まず“試験方案原案”が提出されて、実験を二、三行い、その結果正式に方案を決定することとなつた。

普通に考えられる試験法としては

- 1) 引張り試験
- 2) 曲げ試験
- 3) 衝撃試験
- 4) その他

である。

試験片は大型と小型の両者を行う予定であつて、どの荷重方式の場合も小型試験片で試験して、そ

の結果を見てから大型にする。

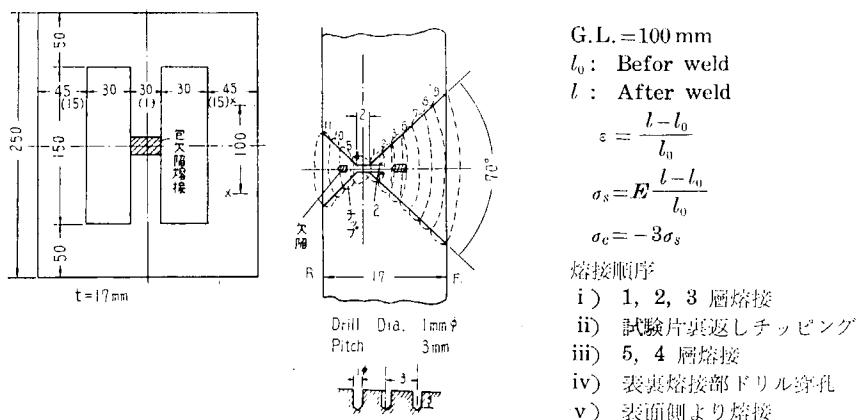
2・2 試験片の形状

2・2・1 H型拘束試験片

応力下に於て甚しい欠陥を包藏する構造物が温度変化によつて脆性破壊を起すや否やを確かめるため第2・1図のような中央に人工欠陥を有するH型拘束試験片を作り bath に没漬して温度変化を与える。

a) 試験片

中央に A.D. (Artificial defect) を有する H 型として bath に没漬して温度変化を与える。



b) 試験温度

試験温度は $-70, -100^{\circ}\text{C}$ で各 2 時間保持

第 2・1 図

2・2・2 引張り試験

引張り試験片は第2・2図の如く4種類の試験片を作成する。

- (I) 各種人工欠陥を有し notch を有す
 - (II) 各種人工欠陥を有し notch なし
 - (III) 完全な熔接部 notch あり
 - (IV) 完全な熔接部 notch なし
- I, II, III の比較より

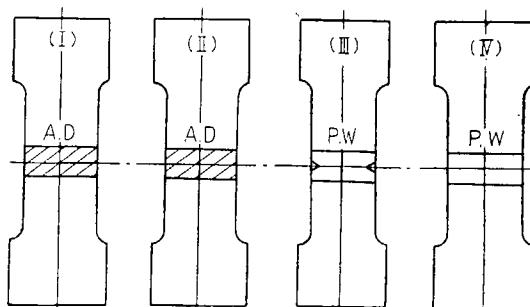
- i) 如何なる欠陥は如何なる notch に対応するかということ。
- ii) 欠陥の影響

を求めることができる。

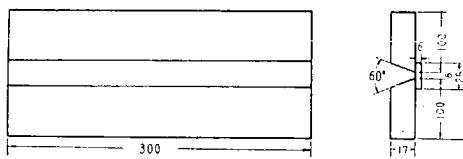
- ・遷移温度
- ・相当高温まで試験を行う。

2・2・3 曲げ試験

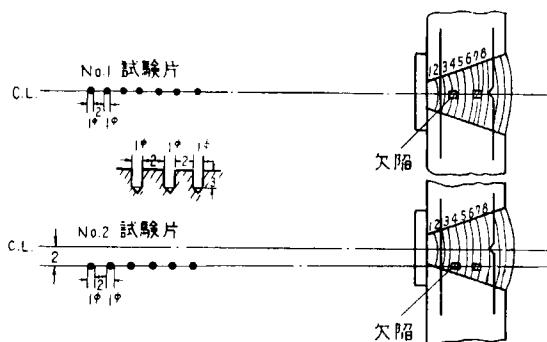
試験片、曲げ方等はその都度決定するが一応、シャルピー型試験片で Slow bend を行うことと



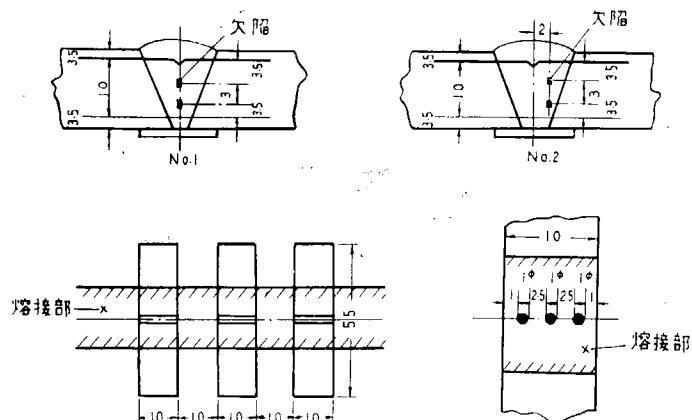
第 2・2 図



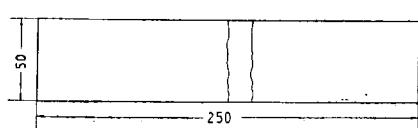
第2・3図 試験片形状



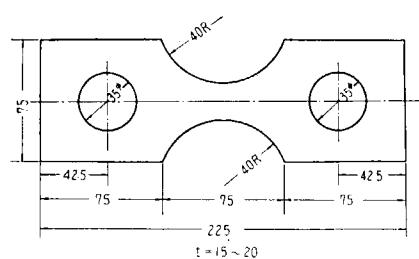
第2・4図 欠陥作製法



第2・5図 試験片採取要領



第2・6図 大型曲げ衝撃試験片



第2・7図 大型引張り衝撃試験片

free bend が予定されている。

2・2・4 衝撃試験

(1) 小型曲げ衝撃試験片

小型試験片によつてはドリル穿孔法による欠陥 model の影響を求める。

なお欠陥の位置と剥離、あるいは亀裂進路の関係をも求め得る。

試験片は第 2・3~第 2・5 図の如く採取する。

(2) 大型曲げ衝撃試験片

その形状は第 2・6 図に示す。

(3) 大型引張り衝撃試験片

その形状は第 2・7 図に示す。

2・2・5 欠陥と亀裂進展の関係

カーンタイプ試験

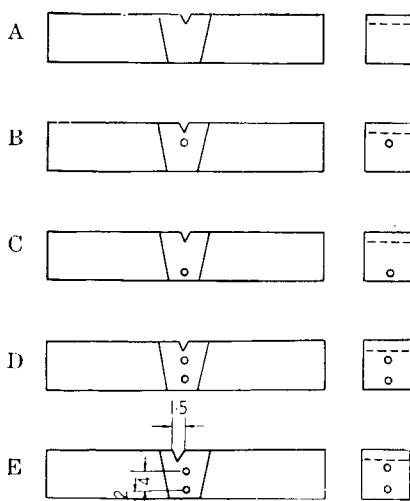
第 2・8 図

カーンタイプの試験片に第 2・8 図の点線のような種々の角度の欠陥を包蔵する熔接部を作り、これを破壊せしめて、亀裂の進展の仕方を見る。

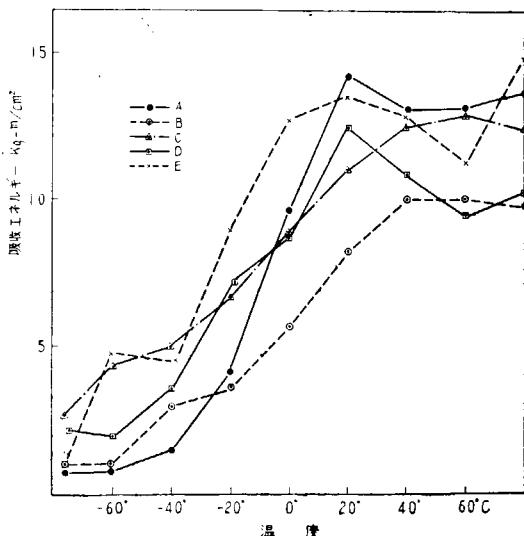
2・3 予備強度試験結果

以上のような、試験法案に基づいて、予備的に実験を行つた。既に行われた実験の一部の結果を次に示す。

2・3・1 衝撃試験結果

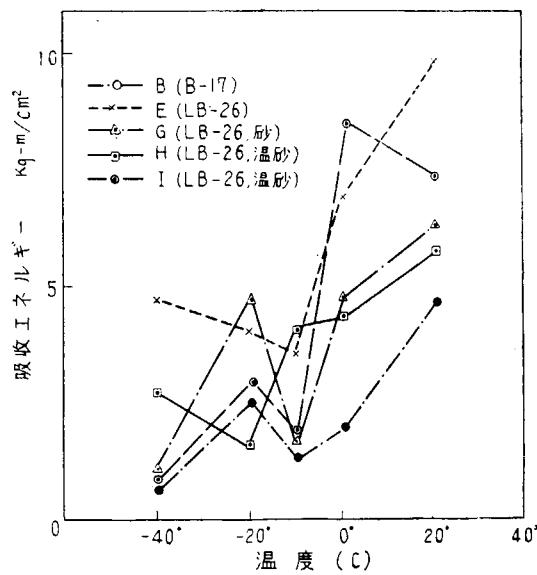


第 2・9 図 試験片

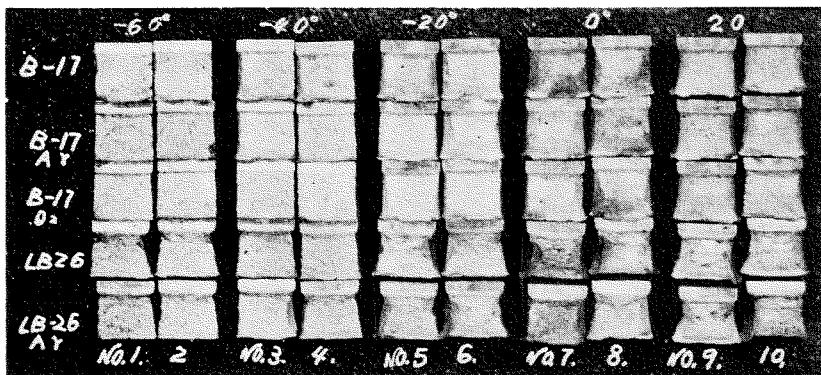


第 2・10 図

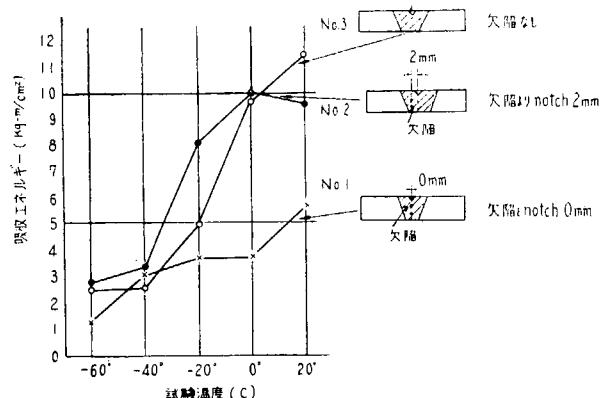
試験片の形状は第2・9図の如くであり、その結果は2・10～2・11図である。その破面が第2・12図である。また欠陥と位置と衝撃値との関係第2・13図を得た。



第2・11図



第2・12図



第2・13図 欠陥の位置と衝撃との関係

更に欠陥と衝撃並びに Slow Bend の関係について第 2・13 図の試験と同様な欠陥を有する試験片について第 2・1~2・2 表を得た。

第 2・1 表 欠陥と衝撃との関係

試験 番 号	温 度 (°C)	No. 1		No. 2		No. 3	
		Notch 0 mm 吸収エネルギー (kg-M/cm²)	Notch 2 mm 吸収エネルギー (kg-M/cm²)	Notch 2 mm 吸収エネルギー (kg-M/cm²)	欠陥なし 吸収エネルギー (kg-M/cm²)	欠陥なし 吸収エネルギー (kg-M/cm²)	欠陥なし 吸収エネルギー (kg-M/cm²)
1	20	6.2	12.9	6.2	11.4		
2		5.3		9.6			
3	0	3.7		10.5	9.8		
4		3.9		11.2			
5	-20	4.2		5.1	5.0		
6		3.7					
7	-40	3.4		3.7	2.6		
8		2.7		3.2			
9	-60	0.8		2.4	2.6		
10		1.8		3.2			

第 2・2 表 欠陥と Slow Bend の関係

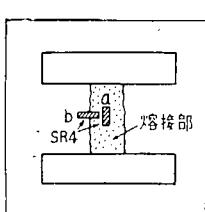
試験 番 号	温 度 (°C)	No. 1, Notch 0 mm		No. 2, Notch 2 mm	
		曲げ角 (α°)	荷重 (kg)	曲げ角 (α°)	荷重 (kg)
11	-40	12	790	26	1,130
12	-40	11	910	32	1,170
13	-40	12	1,000	26	1,140

(註)



2・3・2 H 型試験片についての試験

- (1) H型試験片に熔接を行い、その熔接部に欠陥を作成せしめ、-70, -100°C の温度にて各 2 時間保つたが、熔接部に亀裂は現われなかつた。
- (2) H型試験片の応力を測定するため第 2・14 図に示す如く SR-4 を用いて応力測定を行つた。その結果第 2・3 表に示す如きの結果を得た。



第 2・14 図

第 2・3 表 測定結果

表	H 型 10-b		応 力 kg/mm²
	a	b	
裏	+170	+0.9	
	-700	+15.0	
表	+170	+1.5	
	-780	+16.8	

結 言

以上の報告のごとく各種の熔接欠陥は、人為的に、充分な再現性を以て、しかも定量的に作成し得た。32 年度に於てはこれらの方針によつて作成した欠陥を包藏する熔接試験片を多数作成し、あらゆる機械試験を施して、欠陥と強度の関係を明かにせんとするものである。

欠陥と強度の関係が明かとなれば、熔接欠陥に対する理由のない恐怖と、ために起る神経の消耗は全く除かれるのであつて、熔接関係者のこの問題に対する待望は久しいものがあつたのである。またそのために、不必要なまでに **high order class** の判定結果を要求し、徒らな費用をついやすのような弊風も改められることになるであろう。

第3編 実船における溶接欠陥と事故との関係

実船の溶接はどの程度の欠陥を含んでいるかまたその欠陥が事故にどんな関係があるかと言うことの調査が実際上必要である。この調査を行うにあたります現在の新造船の溶接部はどの程度に欠陥を含んでいるかということを調査し、なお外國の修理船について同様な調査を行つた。

第1章 我国における新造船の溶接部における欠陥の調査

調査結果を第1・1表から第1・6表に示し、またそれを見易くするため第1・1図から第1・6図に図示した。

1・1 各造船所 X線検査結果

第1・1表

船種	造船所	検査場所		不良個所		不良発生率%	
		現場	地上	現場	地上	現場	地上
貨物	A	162	242	16	24	10	10
	B	177	94	29	13	16.4	13.7
	C	170	186	9	8	5.3	4.3
	D	106	32	41	8	39	25
	E	154	—	14	—	9.1	—
船	F	32	48	6	1	18.8	2.1
	G	113	—	16	—	14.2	—
	H	212	—	21	—	10	—
	I	165	5	12	5	7.3	100
船	J	48	67	3	5	6.3	7.5
	K	94	43	15	5	15.9	11.6
	平均	140	90	15.7	8.6	13.8	21.7

第1・2表

船種	造船所	検査場所		不良個所		不良発生率%	
		現場	地上	現場	地上	現場	地上
油槽	A	348	622	52	51	14.9	8.2
	B	—	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—	—
	D	120	16	19	2	16	13
	E	—	—	—	—	—	—
船	F	68	47	12	0	17.7	0
	G	141	272	12	48	8.5	17.7
	H	—	—	—	—	—	—
船	I	269	101	11	27	4.1	26.8
	J	—	—	—	—	—	—
	K	—	—	—	—	—	—
平均		190	210	21.3	25.5	12.2	13.8

1・2 工事種別 X 線検査結果

第 1・3 表 (貨物船)

工事 種別	造船 所	検査個所		不良個所		不良発生率 %	
		現場	地上	現場	地上	現場	地上
		A	33	103	2	10	6.2
上	B	40	26	2	0	5	0
	C	34	70	1	1	3	1.4
	D	26	16	9	6	35	37
	E	54	—	5	—	9.3	—
	F	10	6	2	0	20	0
甲	G	43	—	9	—	21	—
	H	66	—	3	—	4.5	—
	I	60	2	1	2	1.7	100
	J	5	22	1	0	20	0
	K	18	24	3	3	16.6	12.5
船 側 外 板	A	36	54	7	3	9.5	5.5
	B	17	16	3	1	17.6	6.3
	C	44	46	3	1	7	2.2
	D	17	3	10	2	58	67
	E	36	—	3	—	8.3	—
	F	8	8	1	0	12.5	0
	G	44	—	5	—	11.4	—
	H	48	—	15	—	31.2	—
	I	55	—	9	—	16.4	—
	J	24	24	2	0	8.3	0
	K	38	5	7	0	21.2	0
船 底 外 板	A	94	85	7	11	7.4	13
	B	97	12	17	1	1	8.3
	C	48	36	2	1	1	2.9
	D	39	10	16	0	0	0
	E	64	—	6	—	—	—
	F	9	16	2	0	0	0
	G	26	—	2	—	—	—
	H	54	—	2	—	—	—
	I	46	3	0	3	0	100
	J	19	27	0	5	0	29
	K	2	14	0	2	0	14.3

第 1・4 表 (油槽船)

工事 種別	造船 所	検査個所		不良個所		不良発生率 %	
		現場	地上	現場	地上	現場	地上
		A	154	223	21	15	13.6
上	B	—	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—	—
	D	25	—	3	5	0	20
	E	—	—	—	—	—	—
	F	24	—	20	5	0	20.8
甲	G	44	111	4	18	9.1	16.2
	H	—	—	—	—	—	—
	I	79	39	1	5	1.27	12.8
	J	—	—	—	—	—	—
	K	—	—	—	—	—	—
船 側 外 板	A	46	108	12	11	26.1	11
	B	—	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—	—
	D	54	—	3	12	1	22
	E	—	—	—	—	—	—
	F	26	—	5	4	0	15.4
	G	46	85	0	9	0	10.6
	H	—	—	—	—	—	—
	I	90	21	6	5	6.6	23.7
	J	—	—	—	—	—	—
	K	—	—	—	—	—	—
船 底 外 板	A	148	175	29	9	12.8	5.1
	B	—	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—	—
	D	33	—	8	2	1	6
	E	—	—	—	—	—	—
	F	18	22	3	0	16	0
	G	51	76	8	21	15.7	27.6
	H	—	—	—	—	—	—
	I	100	41	4	17	4	41.5
	J	—	—	—	—	—	—
	K	—	—	—	—	—	—

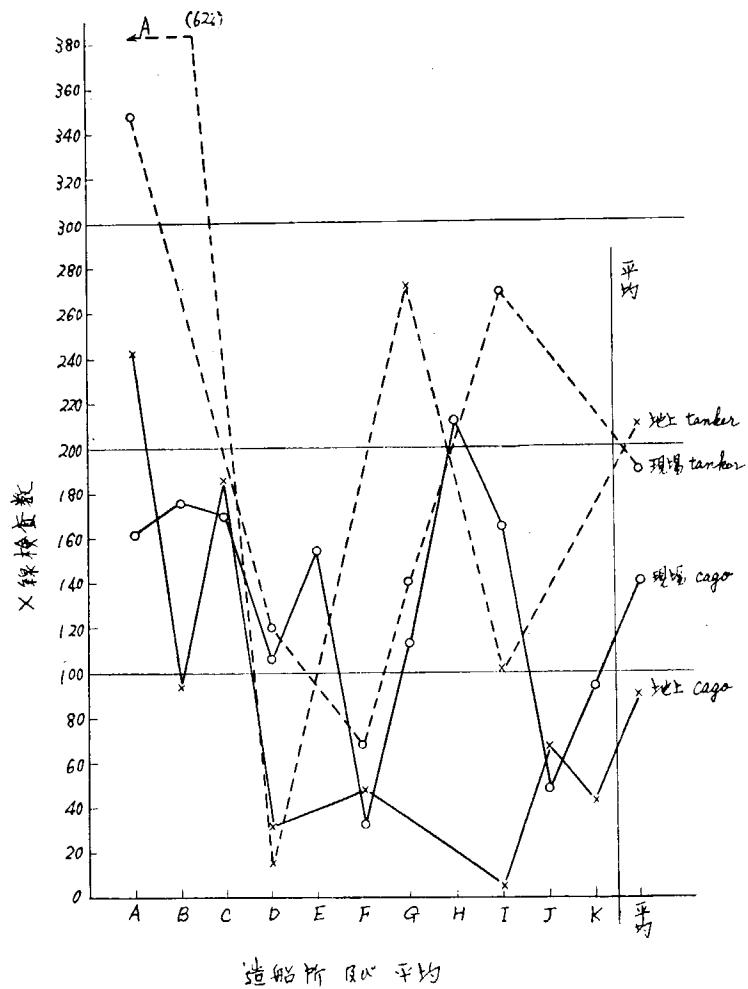
1・3 X線結果等級別比率 %

第1・5表

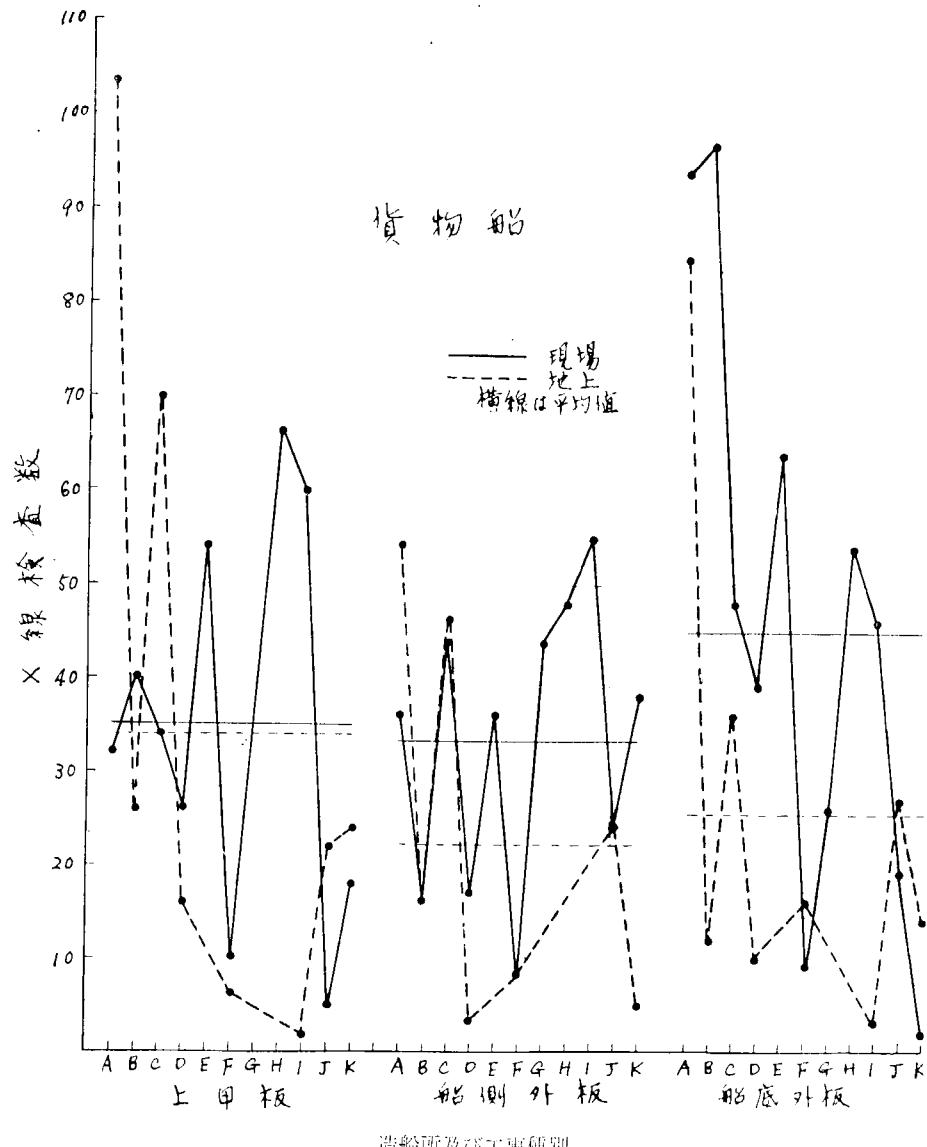
船種	造船所	現 場 等 級						地 上 等 級					
		1級	2級	3級	4級	5級	6級	1級	2級	3級	4級	5級	6級
	A	50	23.5	16	4.3	1.8	3.7	72	18	7	3.7	2	3.7
	B	32.8	30.5	20.3	6.8	4.5	5.1	68	9.6	8.5	7.5	0	6.4
	C	84	44.7	5.9	2.4	1.2	1.7	88	3.7	3.7	2.7	0.5	1.8
貨物	D	40	20	12	13	8	7	65	12.5	2.5	10	0	10
	E	50	26.6	12.3	3.8	1.3	3.8	—	—	—	—	—	—
	F	34.4	28.1	18.7	6.3	6.3	6.3	87.5	10.4	0	0	0	2.1
	G	42.5	30.1	13.3	9.7	4.4	0	—	—	—	—	—	—
	H	28.4	24.5	17.0	6.9	0	3.2	—	—	—	—	—	—
船	I	61.3	24.8	6.7	2.4	3.0	1.8	0	0	0	0	80	20
	J	7.3	12.5	15.8	0	0	0	71	0	0	0	29.5	0
	K	22.2	42.5	19.1	1.5	8.5	6.2	32.6	41.7	14.0	4.7	0	0
	平均	47	24.5	13.9	5.7	3.5	3.5	60	12	4.4	4.9	14.0	6.1

第1・6表

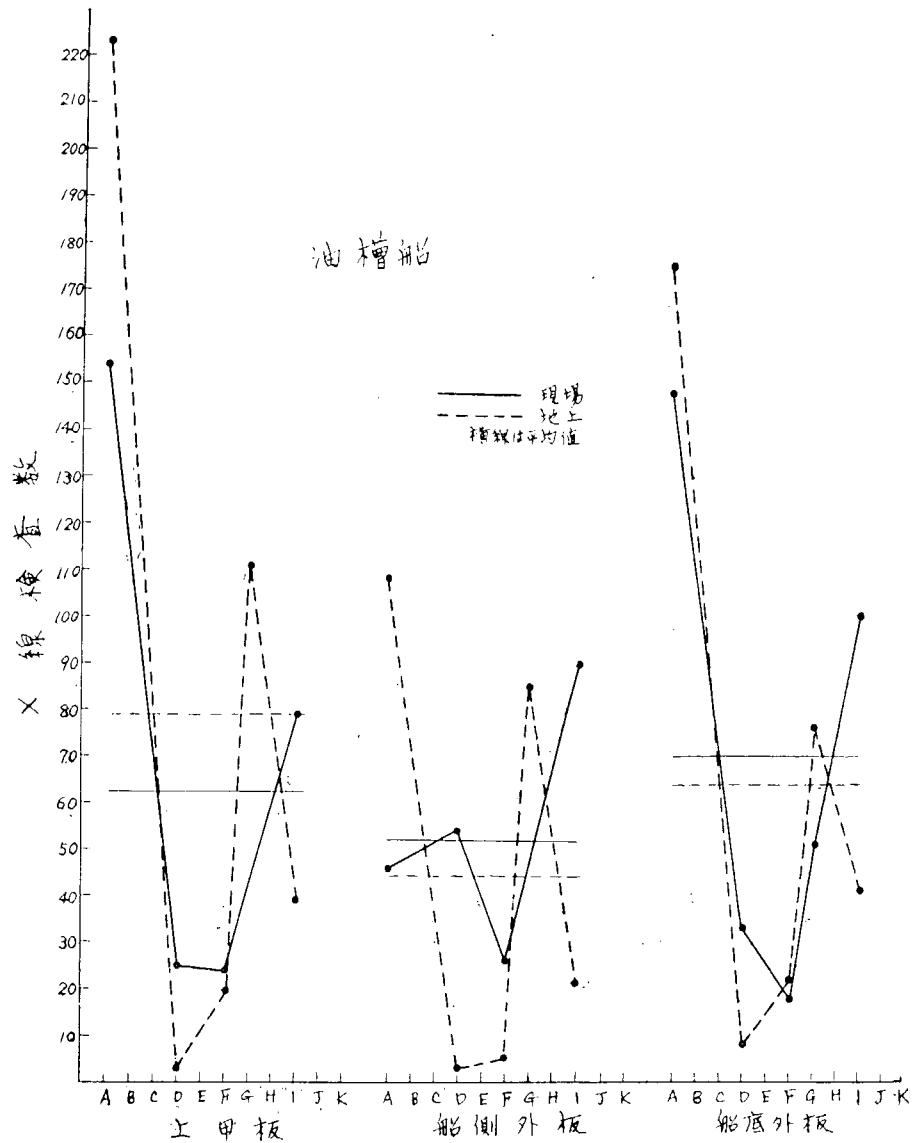
船種	造船所	等 級						等 級					
		1級	2級	3級	4級	5級	6級	1級	2級	3級	4級	5級	6級
	A	33	28	24.5	2.5	3.0	9.0	71.1	13	7.6	2.2	5.25	3.85
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
油	D	44	31	11.5	2.0	5.0	6.5	56	22	11	0	5.5	5.5
	E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	F	36.8	30.9	14.7	2.9	4.4	10.3	87.3	10.6	2.1	0	0	0
	G	40.4	35.4	15.6	5.0	3.6	0	60.6	12.9	3.8	7.7	7.4	2.6
	H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
船	I	54.7	33	8.2	2.2	0.75	1.12	52.5	16.8	3.9	11.9	3.9	10.9
	J	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	平均	42	31.5	23	2.9	3.35	5.4	65	15	6.7	4.3	3.8	4.5



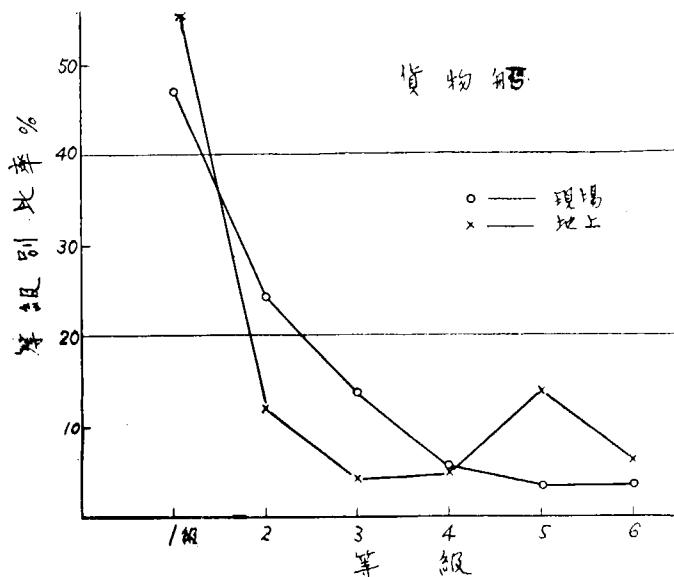
第 1・1 図 各造船所全 X 線検査箇所数比較



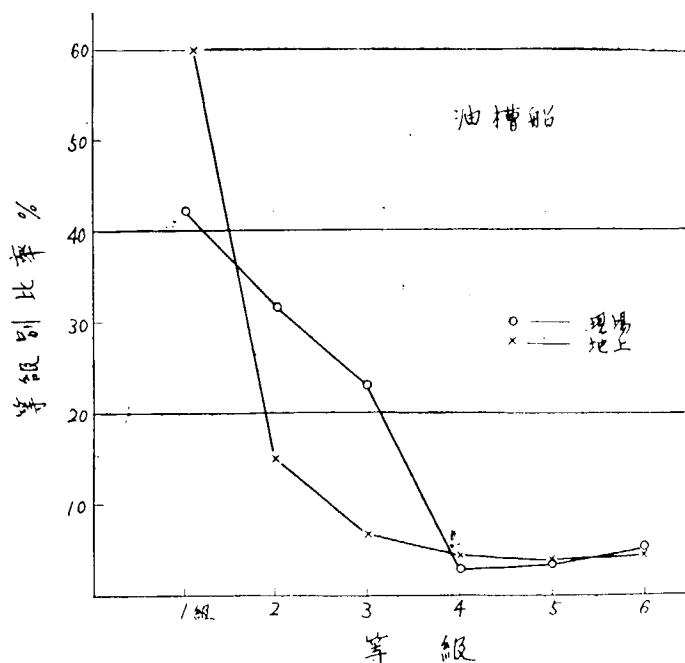
第 1・2 図 各造船所 X 線検査個所数総合比較



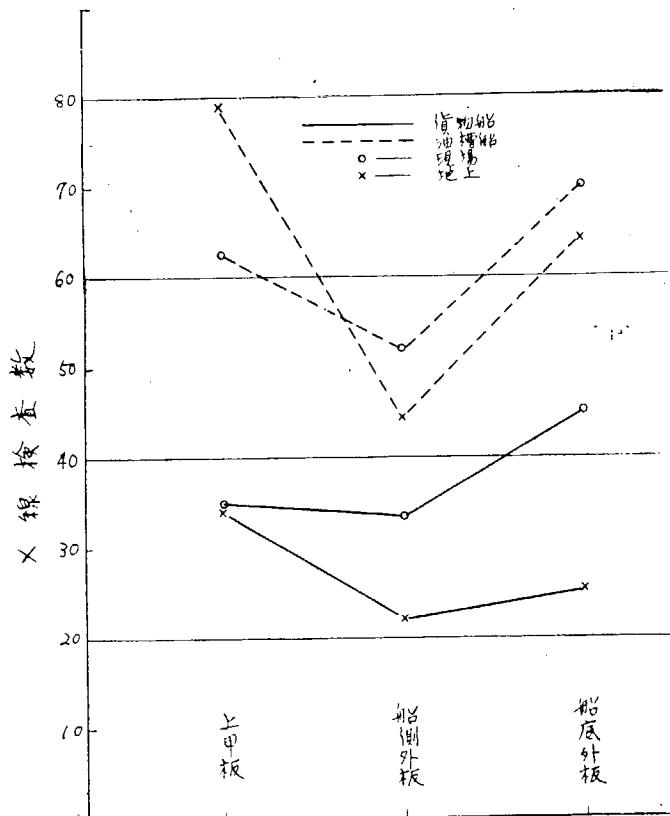
第1・3図 各造船所工事種別X線検査個数比較



第1・4図 現場地上熔接別総合等級比較
(全造船所の総合平均成績)



第1・5図 現場地上熔接別総合等級比較
(全造船所の総合平均成績)



第1・6図 工事種別X線検査箇所総合平均
(第1・2~3図の平均値を拾つたもの)

第2章 外国船熔接部のX線検査結果

修理船については新造船のごとく調査が自由でないので調査実例が少ないので現在まで集めた報告をまとめた結果は次の通りである。

第2・1表

場所	等級	欠陥種別	板厚mm	備考	場所	等級	欠陥種別	板厚mm	備考
船底(中)	3	ブローホール	29	"OLYMPIC TORCH"	上甲板(中)	6	熔込不足	16	
"	1		"		"	"	ブローホール	"	
上甲板(中)	6	熔込不足パイプ	16	"OMNIUM" MONROVIA 8,000 t DW	"	"	ブローホール	"	
"	"	熔込不足 ブローホール	"		"	5	ブローホール	"	
"	"	ブローホール	"		"	6	熔込不足 スラッグ捲込み	"	
"	"	熔込不足 ブローホール	"		"	"	スラッグ捲込み ブローホール	"	
"	"	ブローホール スラッグ捲込み	"		"	5	ブローホール	"	
"	"	ブローホール スラッグ捲込み	"		"	4	パイプ	"	

場所	等級	欠陥種別	板厚mm	備考	場所	等級	欠陥種別	板厚mm	備考
船底 (中)	5	ブローホール	16		船側 (前)	3	スラッグ捲込み	13~21	
"	6	ブローホール スラッグ捲込み	"		"	4	スラッグ捲込み	16~18	
"	"	スラッグ捲込み	"		"	2	ブローホール	"	
"	2	ブローホール	"		"	6	割れ スラッグ捲込み	13~ 16.5	
"	5	ブローホール	"		"	2	スラッグ捲込み	"	
"	6	スラッグ捲込み	"		"	6	熔込不足 ブローホール	13~ 14.75	
"	1		"		"	1		"	
"	6	スラッグ捲込み アンダーカット	"	"CONSTNCE" 1,600 t	"	5	融合不良	14~ 16.5	
"	1		"		"	1		"	
"	6	融合不良	"		上甲板 (前)	"	ブローホール	9.5~ 12	
"	5	融合不良	"		"	6	熔込不足 スラッグ捲込み	"	
"	"	スラッグ捲込み	"		"	3	熔込不足 ブローホール	9.5~ 10	
"	6	スラッグ捲込み ブローホール	12	"VAN WAER- WJCK"	"	6	スラッグ捲込み	"	
"	"	スラッグ捲込み ブローホール	"	3,900 t 1944 建造	"	"	熔込不足	10~14	
"	2	ブローホール	"		"	"	融合不良	"	
"	"	ブローホール	"		"	"	熔込不足 スラッグ捲込み	10~12	
"	"	ブローホール	"		"	3	スラッグ捲込み	"	
"	6	ブローホール	"		船側 (中)	2	ブローホール	記載 なし	"AUBURN" NEW YORK
"	3	ブローホール	"		"	6	融合不良		A B 船級
"	2	ブローホール	"		"	"	スラッグ捲込み		リバティ型
上甲板 (中)	6	ブローホール スラッグ捲込み	"		"	5	熔込不足		1944 建造
"	"	スラッグ捲込み	"		"	1			7,212 t
"	3	ブローホール	"		上甲板 (中)	"			長さ 441'~6"
般側 (前)	2	ブローホール	18~20	ロイヤル船級 PP 長さ 455'~0"	"	4	ブローホール		巾 57'~0"
"	5	スラッグ捲込み ブローホール	"		"	6	スラッグ捲込み		深さ 37'~8%
"	3	スラッグ捲込み ブローホール	19~21	mld 13'~9"	"	"	スラッグ捲込み		
"	"	スラッグ捲込み ブローホール	"	深さ mld 41'~3"	"	1			
"	1	ブローホール	13~21	吃水 27'~4½"	"	6	融合不良 スラッグ捲込み		

(註) (中) とあるは中央 2/3L の場所 (前) はそれより前方

以上の表をまとめると次のとくなる。

第 2・2 表 等級別分類

場所	等級	1	2	3	4	5	6	合計
船底	3	3	5	2	1	6	11	28
船側	4	4	4	3	1	3	4	19
上甲板	3	0	3	1	0	0	18	25
合計	10	9	8	3	9	33	72	

昭和32年5月25日 印刷
昭和32年5月30日 発行

日本造船研究協会報告 第18号

発行人 出 潤 畿
発行所 社団法人日本造船研究協会
東京都中央区京橋1ノ2
セントラルビル5階
電話 (28) 1409

印刷人 笠 非 朝 義
印刷所 笠井出版印刷社
東京都港区芝南佐久間町1~53
電話 (50) 3640, 3641, 9212